

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

#3
8-2-02

Attorney's Docket No.: 460-010813-US (PAR)

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JC979 U.S. PRO
10/033451
12/27/01

Express Mail No.: EL 627511432 US
Applicant(s): Mika KAHOLA
Serial No.: 0 /
Filed: Herewith
For: METHOD FOR PERFORMING LINK ADAPTATION

Group No.:

Examiner:

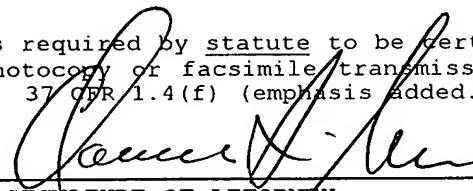
Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

Country : Finland
Application Number : 20002875
Filing Date : December 28, 2000

WARNING: "When a document that is required by statute to be certified must be filed, a copy, including a photocopy or facsimile transmission of the certification is not acceptable." 37 CFR 1.4(f) (emphasis added.)


SIGNATURE OF ATTORNEY

Reg. No.: 24,622

Clarence A. Green

Type or print name of attorney

Tel. No.: (203) 259-1800

Perman & Green, LLP

P.O. Address

Customer No.: 2512

425 Post Road, Fairfield, CT 06430

NOTE: The claim to priority need be in no special form and may be made by the attorney or agent if the foreign application is referred to in the oath or declaration as required by § 1.63.

(Transmittal of Certified Copy [5-4])

Helsinki 30.10.2001

E T U O I K E U S T O D I S T U S
P R I O R I T Y D O C U M E N T

JC979 U S PRO
10/033451
12/27/01



Hakija
Applicant

Nokia Mobile Phones Ltd
Espoo

Patentihakemus nro
Patent application no

20002875

Tekemispäivä
Filing date

28.12.2000

Kansainvälinen luokka
International class

H04L

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä linkkiadaptaation suorittamiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Pirjo Kaita
Tutkimussihteeri

Maksu 300,- mk
Fee 300,- FIM

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1782/1995 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1782/1995 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Menetelmä linkkiadaptaation suorittamiseksi

Nyt esillä oleva keksintö kohdistuu patenttivaatimuksen 1 johdanto-
osassa esitettyyn menetelmään linkkiadaptaation suorittamiseksi.

5 Keksintö kohdistuu lisäksi oheisen patenttivaatimuksen 12 johdanto-
osassa esitettyyn tiedonsiirtojärjestelmään. Keksintö kohdistuu myös
oheisen patenttivaatimuksen 15 johdanto-osassa esitettyyn yhteys-
aseman ohjaimeen. Keksintö kohdistuu vielä oheisen patenttivaati-
muksen 16 johdanto-osassa esitettyyn langattomaan päätelaitteeseen.

10 Langattoman tiedonsiirron edelleen lisääntyessä tulee tarve langatto-
mien tiedonsiirtoverkkojen käytön kontrolloimiseen entistä tärkeäm-
äksi, jotta mahdollisimman moni tiedonsiirtoyhteyks olisi samanaikai-
sesti mahdollinen. Toisaalta myös kannettavien tiedonsiirtolaitteiden

15 kannalta tulee tiedonsiirtoon käytettävä energia pitää mahdollisimman
pienenä aiheuttamatta kuitenkaan liiallista yhteyslaadun heikkenemis-
tä. Näiden tarkoitusten toteuttamiseksi on joissakin tiedonsiirtoverkois-
sa käytettäväissä eri lähetystehoja ja erilaisia modulaatiomenetelmiä
20 mukaan, minkälaisella kombinaatiolla kulloinkin saavutetaan opti-
maalinen tulos. Esimerkiksi kansainväisen standardointijärjestön IEEE
standardissa 802.11a ja ETSI-järjestön standardissa HIPERLAN/2 on
esitetty käytettäväksi kahdeksan erilaista modulaatiomoodia (indeksit
1—8). Nämä modulaatiomoodit ja niitä vastaavat eri parametrit on esit-
etty oheisessa taulukossa 1. Mainitussa järjestelmässä käytetään

25 modulointimenetelmänä ortogonaalista taajuusjakomultipleksointia
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). On tunnettua,
että erilaisilla modulaatiomodeilla saavutetaan erilaisia pakettivir-
hesuhteita (PER, Packet Error Rate) tilanteessa, jossa signaalii/häiriösuhde (s/i, signal to interference ratio) on vakio. Tällöin järjes-
telmän tulisi optimoida tiedonsiirtoyhteyks siten, että signaalin siirtonopeus on optimaalinen, eli pakettivirhesuhde on mahdollisimman lähellä
30 ennalta asetettua arvoa tai sitä pienempi ja lähetysteho on mahdollisimman pieni. Mainituissa standardeissa ei kuitenkaan oteta kantaa siihen, miten valinta suoritetaan.

35

Indeksi	Datanopeus (Mbit/s)	Modulaatio	Koodaus- suhde (R)	Koodeja/ alikanto- aalto (N _{BPCS})	Koodeja/ OFDM- symboli (N _{CBPS})	Databittejä/ OFDM- symboli (N _{DPBS})
1	6	BPSK	1/2	1	48	24
2	9	BPSK	3/4	1	48	36
3	12	QPSK	1/2	2	96	48
4	18	QPSK	3/4	2	96	72
5	24	16-QAM	1/2	4	192	96
6	36	16-QAM	3/4	4	192	144
7	48	64-QAM	2/3	6	288	192
8	54	64-QAM	3/4	6	288	216

TAULUKKO 1

Joissakin tiedonsiirtojärjestelmissä hyödynnetään vapaasti käytettävissä olevia taajuusalueita. Erääät kiinteät langattomat tiedonsiirtoverkot käyttävät sellaisia taajuusalueita, joiden käyttämiseen ei tarvita mitään lupia. Tällaisia taajuusalueita ovat mm. 2,4 GHz ja 5,8 GHz:n taajuusalueet. Koska lupia näiden taajuusalueiden käyttämiseen ei tarvita, voi samalla taajuusalueella olla käytössä useita eri tiedonsiirtojärjestelmiä.

Näiden taajuusalueiden käyttö asettaa omat vaatimuksensa tehokkaalle linkkiadaptaatiolle, sillä taajuuskaistojen käytössä jouditaan suorittamaan optimointia järjestelmän robustisuuden ja spektritehokkuuden välillä. Tällaisissa järjestelmissä ei vältämättä ole järjestelmää ohjaavaa palvelinlaitetta, vaan järjestelmään liitetty päätelaitteet voivat keskenään suorittaa yhteydessä käytettävän kanavan ja modulaatiomenetelmän valinnan. Tällaisia verkkoja ovat mm. MESH-verkot. Tällaisissa järjestelmissä korostuu linkkiadaptaation tehokkaan toiminnan merkitys, jotta kullakin yhteydellä saadaan mahdollisimman tehokas tiedonsiirto ja että yhteyden häiritsevä vaikutus muihin samanaikaisiin tiedonsiirtoyhteyksiin saataisiin minimoitua.

Kansainvälisessä patenttijulkaisussa WO 97/41675 on esitetty eräs adaptiivinen ilmarajapinta, jota voidaan soveltaa solukkomatkaviestintäverkoissa. Ilmarajapinta sisältää erilaisia informaatioelementtejä, joissa

3

on toimintaparametrejä, kuten langattoman viestimen nopeus, etäisyys, viive, viivehaje, bittivirhesuhde (BER, Bit Error Rate), kapasiteetti ja datanopeus. Tässä julkaisussa esitetyssä menetelmässä säätö suoritetaan tilakoneen avulla, jossa päättelään säädetettävät arvot useasta 5 muuttujasta. Julkaisussa esitetyssä esimerkissä käytetään seitsemää sisäänmenoja, joiden avulla säädetään seitsemää ulostuloa. Tällöin tällaisen järjestelmän epäkohtana on mm. se, että sisäänmenojen ja ulostulojen välille tarvitaan monimutkaista päättelyä kulloinkin optimaalisen vaihtoehdon valitsemiseksi.

10 Tunnetun tekniikan mukaisten säätöjärjestelmien soveltaminen linkkiadaptaatiossa on hankala johtuen mm. siitä, että järjestelmä käsittää lukuisia säädetettäviä suureita ja säätöön vaikuttavia muuttujia. Tällöin säätösuureiden ja muuttujien välisten täsmällisten riippuvuus-15 suhteiden selvittäminen on vaikeaa ja säätöalgoritmeista voi tulla monimutkaisia.

20 On kehitetty sumeaan logiikkaan perustuvia säätöjärjestelmiä, joissa säätöön vaikuttavalla muuttujalla ja säädetettävällä lähtöarvolla sekä niiden välisellä riippuvuudella voi olla useampia vaihtoehtoisia arvoja kuin perinteisissä järjestelmissä. Esimerkiksi tehonsääädössä voi valittavissa olevina tehoarvoina olla pieni, keskinkertainen ja suuri, jolloin tehonsäätöön vaikuttavien parametrien kulloisestakin arvosta riippuu se, mikä lähtöteho valitaan. Sumean säädön toteuttamiseksi 25 laaditaan sumeita sääntöjä, jos-niin-sääntöjä (if-then). Nämä sumeat säännöt määrittävät sen, miten muuttujien (linguistic variable) kulloinenkin arvo vaikuttaa säätöön. Sumean säätöjärjestelmän toteutuk- sessa on vielä suoritettava muuttujien ja sääntöjen muuntaminen säätöjärjestelmälle sopivaan muotoon, eli täsmäyttäminen (defuzzifi-30 cation). Täsmäyttämisessä muodostetaan sumeita joukkoja, jotka käsittävät muuttujalle määritetyt vaihtoehtoiset arvot. Esimerkiksi mainitussa tehonsäätöesimerkissä voidaan tehoarvot asettaa esim. siten, että pieni teho on n. 0,2 W, keskinkertainen teho on n. 0,5 W ja suuri teho on n. 1 W.

35 Nyt esillä olevan keksinnön eräänä tarkoituksena on aikaansaada menetelmä linkkiadaptaation toteuttamiseksi tietoliikennejärjestelmässä

sekä tietoliikennejärjestelmä, jossa linkkiadaptaation toteutuksessa käytetään sumeaa logiikkaa. Keksintö perustuu siihen ajatukseen, että laaditaan joukko sumean logiikan sääntöjä siten, että säätöön vaikuttavina suureina käytetään pakettivirhesuhdetta ja pakettivirhesuhteen 5 muutosnopeutta. Tällöin sumean logiikan sääntöjen perusteella suoritetaan modulaatiomoodin valinta ja lähetystehon säättäminen. Täsmällisemmin ilmaistuna keksinnön mukaiselle menetelmälle on pääasiassa tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patentti-vaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa. Keksinnön mukaiselle tiedonsiirto-10 järjestelmälle on pääasiassa tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patenttiavaatimuksen 12 tunnusmerkkiosassa. Keksinnön mukaiselle yhteysaseman ohjaimelle on pääasiassa tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patenttiavaatimuksen 15 tunnusmerkkiosassa. Keksinnön mukaiselle langattomalle päätelaitteelle on vielä pääasiassa 15 tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patenttiavaatimuksen 16 tunnusmerkkiosassa.

Nyt esillä olevan keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisella menetelmällä pyritään pakettivirhesuhde säättämään ennalta määrätyyn pakettivirhesuhteen tavoitearvoon. Pakettivirhesuhde ei välittämättä pysy tämän tavoitearvon alapuolella vaan voi vaihdella hieman tavoitearvon molemmen puolin. Käytännössä simulaatiot ovat kylläkin osoittaneet, että pakettivirhesuhde pysyy riittävässä määrin tavoitearvon alapuolella.

25 Nyt esillä olevalla keksinnöllä saavutetaan merkittäviä etuja tunnetun tekniikan mukaisiin ratkaisuihin verrattuna. Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisissa menetelmissä säädetävänä suureina käytetään modulaatiomoodia ja lähetystehotasia. Tässä säättämisessä 30 käytetään hyväksi sumeaa logiikkaa, jolloin säätöjärjestelmä pystyy paremmin käsittämään säätöihin vaikuttavien muutujien muutoksia verrattuna tavanomaisiin binäärilogiikkaan perustuviin säätöjärjestelmiin. Sovellettaessa sumeaa logiikkaa linkkiadaptaatiossa voidaan kulloinkin valita mahdollisimman optimaalinen modulointimenetelmä ja 35 näin saavuttaa suurin mahdollinen datanopeus pienimmällä mahdollisella teholla ja silti pitää pakettivirhesuhde ennalta määritetyn rajan tuntumassa. Tällöin tiedonsiirtojärjestelmässä ei käytetä tarpeettoman

suurta tehoa, mikä vähentää mm. muihin radiolaitteisiin kohdistuvia häiriöitä ja lisäksi useampia radiolaitteita voi olla samanaikaisesti toiminnassa samalla alueella. Keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan myös tehonkulutusta pienentää, koska ei käytetä tarpeettoman suurta lähetystehoa ja myös siitä syystä, että käytetään aina mahdollisimman suurta tiedonsiirtonopeutta, jolloin informaatio saadaan siirrettyä mahdollisimman nopeasti.

10 Nyt esillä olevaa keksintöä selostetaan seuraavassa tarkemmin viitaten samalla oheisiin piirustuksiin, joissa

15 kuva 1a havainnollistaa keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisen menetelmän yhteydessä käytettäviä pakettivirhesuhteenvärisiä säätöarvoja,

20 kuva 1b esittää vastaavasti keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisen menetelmän yhteydessä käytettävän pakettivirhesuhteenvärisiä säätöarvoja,

25 kuva 2 esittää esimerkkiä, jossa todellinen pakettivirhesuhde muunnetaan vastaavaksi sumeaksi säätöarvoksi,

30 kuva 3a esittää vuokaaviona keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista menetelmää,

35 kuva 3b esittää vuokaaviona keksinnön erään toisen edullisen suoritusmuodon mukaista menetelmää,

40 kuva 4 esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista tiedonsiirtojärjestelmää pelkistettynä lohkokaaviona,

45 kuva 5a esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista langatonta päätelaitetta pelkistettynä lohkokaaviona, ja

50 kuva 5b esittää keksinnön erään toisen edullisen suoritusmuodon mukaista yhteysasemaa pelkistettynä lohkokaaviona.

Seuraavassa keksinnön ensimmäisen edullisen suoritusmuodon mukaista menetelmää selostetaan tarkemmin viitaten samalla mm. kuvan 4 tiedonsiirtojärjestelmään. Esimerkkinä tiedonsiirtojärjestelmästä 1 käytetään HIPERLAN/2 standardin mukaista järjestelmää, mutta on selvää, että keksintöä voidaan soveltaa myös muun tyypissä tiedonsiirtojärjestelmissä. Oletetaan, että tiedonsiirtojärjestelmässä 1 on käytettävissä edellä esitetyssä taulukossa 1 esitetyt modulaatiomoodit. Tällöin langattoman päätelaitteen 2 ja tiedonsiirtojärjestelmän 1 välisessä kommunikoinnissa valitaan kulloinkin yksi näistä valittavissa olevista modulaatiomoodeista. Modulaatiomoodin valinta suoritetaan mm. yhteyden muodostusvaiheessa ja tarvittaessa voidaan modulaatiomoodia vaihtaa yhteydenkin aikana, mikäli olosuhteet ovat muuttuneet siinä määrin, että pakettivirhesuhde on muuttunut merkittävästi. Yhteyden muodostamiseksi langaton pääte-
laite 2 sekä tiedonsiirtojärjestelmä 1 kommunikoivat edullisesti yhteys-
asemien 3 välityksellä. Kutakin yhteysasemaa 3 ohjaa yksi yhteys-
aseman ohjain 4. Saman yhteysasemaohjaimen 4 ohjattavana voi kuitenkin olla useampia kuin yksi yhteysasema 3. Siinä vaiheessa, kun yhteyttä aletaan muodostaa, valitaan modulaatiomoodiksi jokin valitta-
vissa olevista modulaatiomoodeista. Tämä valinta voidaan tehdä esimerkiksi siten, että yksi modulaatiomoodi on valittu oletusarvoiseksi modulaatiomoodiksi, jolloin tämä valitaan yhteyden alussa. Toisaalta modulaatiomoodin valinta voi perustua siihen, mitä modulaatiomoodia käytetään muissa kyseiseen yhteysasemaan 3 samanaikaisesti yhtey-
dessä olevissa langattomissa päätelaitteissa 2. Tässä jälkimmäisessä vaihtoehdossa oletetaan, että olosuhteet ovat suurin piirtein saman-
laiset kaikille yhteysasemaan 3 yhteydessä oleville langattomille pääte-
laitteille 2. Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä asetetaan yhteyttä muodostettäessa lähetysteho sopivimmin kuitenkin suurimpaan sallittuun arvoon valitusta modulaati-
moodista riippumatta. Tämä tehdään siitä syystä, että modulaati-
moodin valitseminen voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti. Sen jälkeen, kun sopiva modulaatiomoodi on valittu, suoritetaan lähetystehon asettaminen sopivaksi, kuten myöhemmin tässä selityksessä esitetään. Kuvan 3 vuokaaviossa tästä alustusvaihetta esittää lohko 301.

Alustusvaiheen 301 jälkeen keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä suoritetaan valittua modulaatiomoodia vastaavan pakettivirhesuhteen määritys (lohko 302) siinä vaiheessa kun riittävä määrä paketteja on vastaanotettu, esim. n kpl. Tähän 5 pakettivirhesuhteeseen PER vaikuttaa mm. käytetty modulaatiomoodi, lähetysteho, häiriötaso, johon voivat vaikuttaa mm. muut lähellä olevat radiolaitteet (interferenssi), ja tiedonsiirtohäviöt. Tämän jälkeen suoritetaan määritetyn pakettivirhesuhteen PER perusteella sumeassa 10 säädössä tarvittavien muuttujien ja säädettävien suureiden arvojen määritys (lohko 303).

Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä sääädettävinä suureina käytetään modulaatiomoodia ja lähetystehotasona. Sumeaan logiikkaan perustuvan säätöjärjestelmän toteuttaa 15 määritetään järjestelmän säätöön vaikuttavat muuttujat. Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä valitaan muuttujiksi pakettivirhesuhde PER ja pakettivirhesuhteen muutosnopeus PERdt. Pakettivirhesuhteen muutosnopeus PERdt on pakettivirhesuhteen derivaatta, joka kuvaa sitä, kuinka vakaana paketti- 20 virhesuhde pysyy. Pakettivirhesuhteen muutosnopeus voi olla nolla tai lähes nolla myös sellaisessa tilanteessa, missä todellinen pakettivirhe- suhde on kaukana pakettivirhesuhteen tavoitearvosta. Pakettivirhe- suhteen muutosnopeus ilmaisee siis ainoastaan epäsuorasti, kuinka 25 kaukana todellinen pakettivirhesuhde on pakettivirhesuhteen tavoite- arvosta, sillä pakettivirhesuhteen poiketessa tavoitearvosta modulaatio hyvin suurella todennäköisyydellä muuttuu ja samalla pakettivirhe- suhteen muutos eroaa suurella todennäköisyydellä nollasta. Epästabili- lisuuden poistamiseksi säätöjärjestelmästä modulaation muutokset 30 pyritään pitämään suhteellisen pieninä erityisesti silloin, kun paketti- virhesuhde on lähellä pakettivirhesuhteen tavoitearvoa.

Pakettivirhesuhde PER lasketaan edullisesti sen jälkeen, kun n kappaletta paketteja on vastaanotettu ja/tai siinä yhteydessä, kun datanopeus tai lähetysteho muuttuu. Mainittujen muuttujien lisäksi on 35 määritettävä sumeat säännöt, eli mainitut jos-niin –säännöt. Näillä sumeilla säännöillä yhdistetään valitut muuttujat toisiinsa siten, että tuloksena saadaan ohjaussuure halutun säätösuureen ohjaamiseksi,

8

tässä esimerkissä modulaatiomoodin ja/tai lähetystehon muuttamiseksi tarvittaessa. Tämän toteuttamiseksi muuttujille määritetään sumeavat joukot edullisesti siten, että ensimmäisen sumeavien joukot muodostaa ensimmäiselle muuttujalle valitut arvot, tässä tapauksessa paketti-5 virhesuhteille PER valitut eri arvot. Vastaavasti toisen sumeavien joukot muodostaa toiselle muuttujalle PERdt valitut arvot. Oheisessa taulukossa 2 on esitetty esimerkinomaisesti sumeiden joukkojen ja sumeiden sääntöjen välistä riippuvuutta keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa järjestelmässä. Tässä suoritusmuodossa 10 sumeavat joukot määritetään eri alkioita, mutta on selvää, että keksintöä voidaan soveltaa myös muun tyypillisissä sumeissa joukoissa. Käytännössä on havaittu, että seitsemän alkion sumeavat joukko toteuttaa sumeavien säädön yleensä riittävän hyvin. Mitä suurempi 15 sumeavat joukko on, sitä herkemmin säädöstä muodostuu epästabiili. Käytännössä mainittu seitsemän alkion joukko on havaittu sellaiseksi, jolla säätö tavallisesti toimii riittävän vakaasti.

PERdt	PER							
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N	
	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1	
	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2	
	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3	
	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4	
	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	
PL	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	

TAULUKKO 2

20 Muuttujat PER, PERdt voivat saada arvot suuri (PL, Positive Large), keskinkertainen (PM, Positive Medium), pieni (PS, Positive Small), merkityksetön (Z, negligible), ei pieni (NS, Not Small), ei keskinkertainen (NM, Not Medium), ei suuri (NL, Not Large). Sumeavat säännöt voivat tässä esimerkissä saada arvot N_6:sta P_6:een 25 riippuen muuttujien PER, PERdt kulloisistakin arvoista. Nämä sumeavat säännöt määritetään sen, kuinka paljon modulaatiomoodin indeksiä muutetaan. Esimerkiksi, jos pakettivirhesuhde PER on arvoissa suuri

(PL) ja pakettivirhesuhteen muutosnopeus PERdt on pieni positiiviseen suuntaan (PS), niin modulaatiomoodin indeksin muutos saa arvon N_4. Taulukossa 2 esitetyistä sumelista säännöistä voidaan havaita mm. se, että mitä pienempi pakettivirhesuhde PER on, sitä suurempi voi tiedonsiirtonopeus ja modulaatiomoodi olla, jolloin taulukon 2 vaaka-riiveillä alkioiden arvot kasvavat oikealta vasemmalle. Vastaavasti pakettivirhesuhteen muutosnopeus PERdt ilmaisee yleensä, kuinka kaukana todellinen pakettivirhesuhde on halutusta pakettivirhesuhteesta, jolloin mitä pienempi pakettivirhesuhteen muutosnopeus on, sitä suurempi voi modulaatiomoodi olla, jolloin alkioiden arvot pystysuunnassa pienenevät ylhäältä alas päin.

Sen jälkeen, kun sumeät säännöt on laadittu, on vielä suoritettava sumeiden sääntöjen muuntaminen todelliseen järjestelmään soveltuviaksi.

15 Kun sumea joukko täsmällistetään, sen alkiot korvataan luvuilla, eli sentroidiarvoilla. Taulukossa 3 on esitetty keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä pakettivirhesuhteelle valittuja sentroidiarvoja. Vastaavasti taulukossa 4 on esitetty pakettivirhesuhteen muutosnopeudelle valittuja sentroidiarvoja. Tyypillisesti sumean joukon alkio määritetään alkion sentroidin suhteeseen olennaisesti tasakylkisenä kolmiona. Tämä kolmio ilmaisee totuusarvon μ . Totuusarvo μ voi saada arvot 0:sta 1:een, jolloin kolmion kanta on arvoissa $\mu=0$ ja sentroidi on arvoissa $\mu=1$. Tällöin esimerkiksi pakettivirhesuhteelle PER saadaan oheisessa kuvassa 1a esitetty käyrästö. Käyrästö on laadittu taulukon 3 mukaisia pakettivirhesuhteelle valittuja sentroidiarvoja soveltamalla. Vastaavasti kuvassa 1b on esitetty pakettivirhesuhteen muutosnopeuden käyrästö, joka on laadittu taulukon 4 perusteella. Tässä esimerkissä sentroidit on valittu tasavalein, jolloin kolmiot ovat samankokoisia, mutta sentroidiarvot voidaan valita myös siten, että joissakin kohdissa halutaan tarkempi tai karkeampi säätö kuin joissakin toisissa kohdissa. Tällöin sentroidiarvojen erot ovat tällaisissa kohdissa vastaavasti joko pienemmät tai suuremmat. On selvää, että tässä esitetyt lukuarvot ovat vain keksintöä selventäviä, eivät rajoittavia esimerkkejä.

10

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13

TAULUKKO 3

PERdt	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	-0,006	-0,004	-0,002	0	0,002	0,004	0,006

TAULUKKO 4

5

Taulukoista 3 ja 4 voidaan laskea ns. limityssuhde (Overlap ratio), joka kuvaa sitä, kuinka pehmeästi säätösysteemi toimii. Mitä suurempi limityssuhde on, sitä pehmeämpi säätö saavutetaan. Limityssuhde voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

10

$$\text{limityssuhde} = (U-L)/\text{säätöalue}, \quad (1)$$

missä säätöalue on säädön kokonaisalue ja U sekä L ovat pisteitä, missä totuusarvo $\mu = 0$. Taulukon 3 ja 4 arvoilla laskettuna saadaan limityssuhteeksi 0,17 ($=(0,08-0,07)/(0,13-0,07)$).

N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

TAULUKKO 5

20

Taulukossa 5 on esitetty vielä nyt esillä olevan keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisen säätöjärjestelmän säätöjoukkoa vastaavat reaaliarvot. Taulukon 5 arvot kuvavat sitä, kuinka paljon modulaatiomoodin indeksi muuttuu eri tilanteissa. Tämän modulaatiomoodin muutoksen laskemiseksi on ensin suoritettava todellisen pakettivirhesuhteen muuntaminen vastaavaksi sumean säädön muuttujaksi. Tätä

25

esittää esimerkinomaisesti kuva 2, joka vastaa kuvassa 1a esitettävä käyrästöä, johon on piirretty lisäksi kolmio D, jonka kärki on todellista pakettivirhesuhdetta vastaavassa kohdassa (viiva C). Tämä kolmio D leikkää viereiset kolmiot (NS ja Z) tietyissä pisteissä A, B. Näitä leikkauuspisteitä vastaavia todennäköisyysarvoja μ_i , missä $i=1,2$,

11

voidaan käyttää modulaatioindeksin laskennassa esimerkiksi seuraavan kaavan mukaisesti:

$$dMode = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot LABEL \quad (2)$$

5

missä LABEL on sumeiden säätöjen mukainen arvo, joka saadaan taulukoiden 2 ja 5 perusteella. Taulukosta 2 selvitetään valitun pakettivirhesuhteen tavoitearvon ja todellisen pakettivirhesuhteen PER poikkeaman tästä halutusta tavoitearvosta sekä pakettivirhesuhteen

10 muutosnopeuden PERdt perusteella säätösuhure, minkä jälkeen taulukosta 5 saadaan säätösuhuretta vastaava reaaliarvo, jota käytetään muuttujana LABEL edellä esitetyssä kaavassa (2). Kuvan 2 esimerkkilanteessa säätösuhureeksi valitaan sarakkeesta NS alkio siltä riviltä, joka vastaa pakettivirhesuhteen muutosnopeutta. Jos 15 pakettivirhesuhteen muutosnopeus on esim. NM, säätösuhureeksi valitaan arvo P_3. Tällöin muuttuja LABEL saa arvon 0,6. Modulaatiomoodin indeksin muutoksen on kuitenkin oltava kokonaisluku, jolloin edellä esitetyn kaavan mukaan laskettu muutos dMode pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. Uusi modulaatiomoodin 20 indeksi on vanhan modulaatiomoodin indeksin ja modulaatiomoodin muutoksen summa eli kaavana:

$$Mode = Mode + dMode \quad (3)$$

25 Tämä pyöristys kokonaisluvuksi aiheuttaa pyöristysvirheitä, joka voi aiheuttaa järjestelmän impulssivasteesseen värähtelyä ja ns. soimista (ringing), jotka on pyrittävä kompensoimaan.

30 Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä värähtelyn ja soimisen minimoimiseksi ylläpidetään tietoa siitä, mikä on maksimimodulaatiomoodi pakettivirhesuhteen PER ollessa ennalta asetetun rajan alapuolella, tähän maksimimodulaatiomoodiin liittyvästä lähetystehotasta, sekä pakettivirhesuhteesta.

35 Seuraavaksi menetelmässä tutkitaan se, saavutetaanko suoritetun säädön perusteella valitulla modulaatiomoodilla haluttua pakettivirhe-

12

suhdetta olennaisesti vastaava pakettivirhesuhde (lohko 304). Jos pakettivirhesuhde poikkeaa vielä merkittävästi mainitusta raja-arvosta, suoritetaan modulaatiomoodin asettaminen edellä määritettyä uutta modulaatiomoodia vastaavaksi (lohko 305), jolloin modulaatiomoodin 5 mukaiset asetukset toteutetaan edullisesti taulukon 1 mukaan. Tämän jälkeen toistetaan edellä esitettyjä sumeita säättövaiheita.

Sen jälkeen, kun alustusvaiheessa on maksimimodulaatiomodi löydetty, suoritetaan lähetystehotason asettaminen sellaiseksi, että on mahdollista ylläpitää vaadittu pakettivirhesuhde (lohko 306). Myös tässä sovelletaan edullisesti sumeaa logiikkaa. Oheisessa taulukossa 10 6 on esitetty vastaavasti tähän lähetystehotason säättöön sovellettavat sumeavat reaaliarvot.

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3

15 TAULUKKO 6

N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3
1	0,67	0,33	0	-033	-0,67	-1

TAULUKKO 7

20 Lähetystehotason laskennassa voidaan soveltaa samoja periaatteita kuin edellä modulaatiomoodin valinnan yhteydessä. Muuttujana tässäkin käytetään pakettivirhesuhdetta PER. Tällöin lähetystehotason indeksin muutos voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$dTx = \sum_{i=1}^2 \mu_i \cdot LABEL \quad (4)$$

25

missä

dTx = lähetystehotason indeksin muutos,

μ_i = leikkauspisteitä vastaavien todennäköisyyksien arvo,

i = 1,2, ja

30 $LABEL$ = alkion reaaliarvo.

13

Myös tässä tapauksessa on muutosarvo dTx pyöristettävä ylöspäin lähimpään kokonaislukuun lähetystehotason indeksin muuttamiseksi. Uusi lähetystehotason indeksi saadaan laskemalla yhteen vanha lähetystehotason indeksi ja kaavalla (4) laskettu lähetystehotason indeksin muutos:

$$Tx = Tx + dTx \quad (5)$$

Lähetystehotason indeksiä vastaava todellinen lähettimelle asetettava teho voidaan valita esim. taulukon 8 perusteella.

Edellä esitettyjä säätötoimenpiteitä toistetaan yhteyden aikana, jolloin yhteysolosuhteissa mahdollisesti tapahtuvat muutokset voidaan huomioida modulaatiomoodia ja/tai lähetystehoa muuttamalla.

Keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä mainitut ylläpidettävät tiedot, kuten maksimi modulaatiomoodi, sitä vastaava lähetystehotaso, ja pakettivirhesuhde, asetetaan takaisin oletusarvoihinsa. Tämä tehdään siitä syystä, että voidaan selvittää se, onko mahdollista saavuttaa vielä suurempi datanopeus. Jos tässä tilanteessa modulaatiomoodia muutetaan ja sen seurauksena pakettivirhesuhde ylittää ennalta asetetun raja-arvon, eksinnön mukainen säätöjärjestelmä säätää itsensä takaisin optimaiseen tilaan, jossa käytetään maksimimodulaatiomoodia, jolla pakettivirhesuhde pysyy mainitun raja-arvon alapuolella.

Selostetaan vielä eksinnön erään toisen edullisen suoritusmuodon mukaista menetelmää viitaten samalla kuvaan 3b. Tässä suoritusmuodossa valitaan alustusvaiheessa (lohko 307) jokin käytettävissä olevista modulaatiomodeista sekä lähetystehoista. Lähetystehon ei välttämättä tarvitse olla suurin mahdollinen, vaan myös jokin muu arvo voidaan valita. Toiminnan aikana määritetään pakettivirhesuhde PER sekä pakettivirhesuhteeseen muutosnopeus PERdt (lohko 308). Näitä määritettyjä arvoja PER ja PERdt käytetään sumean säädön tuloparametreina (lohko 309), joiden perusteella suoritetaan säätö esim. taulukkoja 5 ja 7 käyttäen (lohko 310). Säädön tuloksena saadaan modulaatiomoodi sekä lähetysteho, joita käytetään, kunnes

seuraava säätökiertos on suoritettu ja mahdollisesti valittu jokin toinen modulaatiomoodi ja/tai lähetysteho. Tässä suoritusmuodossa suoritetaan jatkuva modulaatiomoodin ja lähetystehon säätöä, jolloin järjestelmässä ei tarvitse ylläpitää tietoa maksimimodulaatiomoodista, 5 jossa pakettivirhesuhde pysyy olennaisesti yhtä suurena tai pienempänä kuin asetettu tavoitearvo, eikä sitä vastaavasta lähetystehosta. Koska tässä suoritusmuodossa säädetään olennaisesti samanaikaisesti sekä modulaatiomoodia että lähetystehoa, on tässä suoritusmuodossa kiinnitettävä enemmän huomiota säätöparametrien 10 valintaan väärähtelyjen ja soimisefektin minimoimiseksi verrattuna aikaisemmin selostettuun keksinnön ensimmäisen edullisen suoritusmuodon mukaiseen menetelmään.

15 Kuvassa 5a on pelkistettynä lohkokaaviona esitetty erästä langatonta päätelaitetta 2, jossa nyt esillä olevaa keksintöä voidaan soveltaa. Langaton päätelaitte 2 käsitteää edullisesti radio-osan 5 langattoman tiedonsiirron suorittamiseksi tiedonsiirtojärjestelmässä muihin laitteisiin, kuten yhteysasemaan 4 ja/tai langattomiin päätelaitteisiin 2. Ohjauslokholla 6 ohjataan langattoman päätelaitteen 2 toimintaa. 20 Muistivälineitä 7 käytetään mm. langattoman päätelaitteen 2 toiminnassa tarvittavien ohjelmakoodien sekä toiminnan aikaisten tietojen tallennukseen. Käyttöliittymä 8 käsitteää sinänsä tunnetusti edullisesti audioväliseet, kuten kuulokkeen ja mikrofonin, näytön ja näppäimistön, joita ei kuitenkaan ole esitetty oheisissa kuvissa. 25 Kuvassa 5b on pelkistettynä lohkokaaviona esitetty erästä yhteysaseman ohjainta 4, jossa myös nyt esillä olevaa keksintöä voidaan soveltaa. Yhteysaseman ohjain 4 tai käsitteää ensimmäiset tiedonsiirtoväliseet 9 kommunikoinnin suorittamiseksi yhteysaseman 3 30 kanssa. Yhteysasemalla 3 on vastaavat tiedonsiirtoväliseet 13. Lisäksi yhteysaseman ohjaimessa 4 on ohjauslohko 10 ja muistivälineet 11. Yhteysaseman ohjain 4 voi toisten tiedonsiirtoväliseiden 12 kautta kommunikoida muiden yhteysaseman ohjaimien 4 ja/tai muiden tiedonsiirtojärjestelmien, kuten langallisen ja/tai langattoman televerkon 35 kanssa. Radiotiedonsiirto langattoman päätelaitteen 2 kanssa suoritetaan yhteysasemalle 3 järjestetyn radio-osan 14 välityksellä.

15

Nyt esillä olevaa keksintöä voidaan soveltaa edullisesti yhteys-
asemassa 4, joka suorittaa edellä esitettyjä säätötoimenpiteitä
langattomasta päätelaitteesta 2 vastaanotettujen signaalien perus-
teella. Keksinnön mukaisen menetelmän säätövaiheet voidaan suurelta
5 osin toteuttaa ohjelmallisesti esim. yhteysaseman ohjaimen 4
ohjauslohkon 10 ohjelmakoodina. On selvää, että myös langattomassa
päätelitteessä 2 voidaan keksinnön mukaista menetelmää soveltaa.
Lisäksi keksintöä voidaan soveltaa sellaisissa tiedonsiirtojärjestel-
10 missä, joissa mikään laite ei ole isäntälaitteena, vaan kukin tiedon-
siirtojärjestelmään kytketty laite voi olla suoraan yhteydessä mihin
tahansa muuhun tiedonsiirtojärjestelmään kytkettyyn laitteeseen.
Tällöin kukin päätelaitte voi soveltaa keksinnön mukaista menetelmää
eri päätelaitetyyksissä. Menetelmässä tarvittavat sumean säädön
15 taulukot voidaan tallentaa edullisesti säätöä suorittavan laitteen 2, 4
muistivälaineisiin 7, 11.

On selvää, että nyt esillä olevaa keksintöä ei ole rajoitettu ainoastaan
edellä esitettyihin suoritusmuotoihin, vaan sitä voidaan muunnella
oheisten patenttivaatimusten puitteissa.

20

Patenttivaatimuukset:

1. Menetelmä linkkiadaptaation suorittamiseksi tiedonsiirtojärjestelmässä, jossa kahden tiedonsiirtolaitteen (2, 3, 4) välille muodostetaan tiedonsiirtoyhteys informaation siirtämiseksi ainakin osittain langattomasti, siirrettävästä informaatiosta muodostetaan paketteja, määritetään pakettivirhesuhde (PER), ja jota yhteyttä varten on valittavissa ainakin kaksi eri modulaatiomoodia, **tunnettu** siitä, että menetelmässä käytetään modulaatiomoodin valinnassa sumeaa säätöä, ja että sumeassa säädössä ainakin yhtenä muuttujana käytetään mainittua määritettyä pakettivirhesuhdetta (PER).
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä määritetään pakettivirhesuhteelle (PER) tavoitearvo, että pakettivirhesuhde (PER) pyritään pitämään olennaisesti samana kuin mainittu tavoitearvo, ja että menetelmässä käytetään muuttujana lisäksi pakettivirhesuhteeseen (PER) ja tavoitearvon eroa.
3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että sumean säädön suorittamiseksi muodostetaan ensimmäinen joukko säätöarvoja, jossa muuttujana käytetään pakettivirhesuhdetta (PER), muodostetaan toinen joukko säätöarvoja, jossa muuttujana käytetään pakettivirhesuhteen muutosnopeutta (PERdt), ja muodostetaan joukko sumeita sääntöjä, joilla määritetään mainittujen muuttujien säätöarvojen vaikutus säätösuureena käytettävään modulaatiomoodiin.
4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitut säätöarvojen joukot muodostetaan arvoista suuri (PL), keskikertainen (PM), pieni (PS), merkityksetön (Z), ei pieni (NS), ei keskikertainen (NM), ja ei suuri (NL).
5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu joukko sumeita sääntöjä määritetään seuraavan taulukon perusteella:

17

PERdt	PER							
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
	NL	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N
	NM	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1
	NS	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2
	Z	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3
	PS	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4
	PM	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
	PL	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että mainittu ensimmäinen joukko säätöarvoja käsittää seuraavat arvot:

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13

5

että mainittu toinen joukko säätöarvoja käsittää seuraavat arvot:

PERdt	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	-0,006	-0,004	-0,002	0	0,002	0,004	0,006

ja että mainittu joukko sumeita sääntöjä käsittää seuraavat arvot:

N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

10

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmässä määritetään joukko modulaatiomooodeja, jossa kullekin modulaatiomoodille määritetään modulaatiomoodin yksilöivä indeksi, ja että menetelmässä suoritetaan ainakin seuraavat vaiheet:

15

- alustusvaihe, jossa valitaan yksi mainituista indekseistä tiedonsiirtoyhteydessä käytettävän modulaatiomoodin valitsemiseksi,
- laskentavaihe, jossa lasketaan pakettivirhesuhteen poikkeama tavoitearvosta ja pakettivirhesuhteen muutosnopeus, ja

18

- sumea säätövaihe, jossa sumealla säädöllä määritetään modulaatiomoodin indeksin muutos, jolloin lasketun uuden indeksin mukainen modulaatiomoodi valitaan tiedonsiirtoyhteyttä varten.
- 5 8 Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittua laskentavaihetta ja sumeaa säätövaihetta toistetaan.
- 9. Jonkin patenttivaatimuksen 1—8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä lisäksi säädetään lähetystehoa.
- 10 10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä säädetään modulaatiomoodia, kunnes saavutetaan sellainen modulaatiomoodi, jolla pakettivirhesuhde (PER) on olennaisesti sama kuin mainittu pakettivirhesuhteen tavoitearvo, minkä jälkeen
- 15 suoritetaan lähetystehon säättäminen käyttämällä sumeaa säätöä.
- 11. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että modulaatiomenetelmän ja lähetystehon valinta suoritetaan olennaisesti samanaikaisesti.
- 20 12. Tiedonsiirtojärjestelmä (1), joka käsittää välaineet (5, 14) tiedonsiirtoyhteyden muodostamiseksi kahden tiedonsiirtolaitteen (2, 3, 4) välille informaation siirtämiseksi pakettimuodossa ainakin osittain langattomasti, välaineet (6, 10) pakettivirhesuhteen (PER) määrittämiseksi, ja välaineet (6, 10) modulaatiomoodin valitsemiseksi yhteyttä varten ainakin kahdesta eri modulaatiomoodista, **tunnettu** siitä, että tiedonsiirtojärjestelmä (1) käsittää välaineet (6, 10) sumean säädon käyttämiseksi modulaatiomoodin valinnassa, ja että sumeassa säädössä ainakin yhtenä muuttujana on järjestetty käytettäväksi
- 25 30 mainittua määritettyä pakettivirhesuhdetta (PER).
- 13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen tiedonsiirtojärjestelmä (1), **tunnettu** siitä, että pakettivirhesuhteelle (PER) on määritetty tavoitearvo, että välaineet linkkiadaptaation suorittamiseksi käsittävät välaineet pakettivirhesuhteen (PER) säättämiseksi olennaisesti samaksi kuin mainittu tavoitearvo, ja että sumean säädon muuttujana on järjestetty käytettäväksi lisäksi pakettivirhesuhteen (PER) ja tavoitearvon eroa.

14. Patenttivaatimuksen 13 mukainen tiedonsiirtojärjestelmä (1), tunnettu siltä, että sumean säädon suorittamiseksi on muodostettu ensimmäinen joukko säätöarvoja, jossa muuttujana on käytetty 5 pakettivirhesuhdetta (PER), ja toinen joukko säätöarvoja, jossa muuttujana on käytetty pakettivirhesuhteen muutosnopeutta (PERdt), ja että on muodostettu joukko sumeita sääntöjä, joilla on määritetty mainittujen muuttujien säätöarvojen vaikutus säätösuureena käytet- 10 tään modulaatiomoodiin.

15. Yhteysaseman ohjain (4), joka käsittää välaineet (14) tiedon- 15 siirtoyhteyden muodostamiseksi yhteysaseman ohjaimen (4) ja ainakin yhden langattoman päätelaitteen (2) välille informaation siirtämiseksi pakettimuodossa ainakin osittain langattomasti, välaineet (10) pakettivir- 20 hesuhteen (PER) määrittämiseksi, ja välaineet (10) modulaatiomoodin valitsemiseksi yhteyttä varten ainakin kahdesta eri modulaatio- moodista, tunnettu siitä, että yhteysaseman ohjain (4) käsittää väl- neet (10) sumean säädon käyttämiseksi modulaatiomoodin valinnassa, ja että sumeassa säädössä ainakin yhtenä muuttujana on järjestetty käytettäväksi mainittua määritettyä pakettivirhesuhdetta (PER).

25. Langaton päätelaitte (2), joka käsittää välaineet (5) informaation siirtämiseksi pakettimuodossa ainakin osittain langattomasti langat- 30 oman päätelaitteen (2) ja toisen tiedonsiirtolaitteen (3, 4) välille muodostetussa tiedonsiirtoyhteydessä, välaineet (10) pakettivirhe- suhteen (PER) määrittämiseksi, ja välaineet (10) modulaatiomoodin valitsemiseksi yhteyttä varten ainakin kahdesta eri modulaatio- moodista, tunnettu siitä, että langaton päätelaitte (2) käsittää väl- neet (10) sumean säädon käyttämiseksi modulaatiomoodin valinnassa, ja että sumeassa säädössä ainakin yhtenä muuttujana on järjestetty käytettäväksi mainittua määritettyä pakettivirhesuhdetta (PER).

(57) Tiivistelmä:

Keksintö kohdistuu menetelmään linkkiadaptaation suorittamiseksi tiedonsiirtojärjestelmässä, jossa kahden tiedonsiirtolaitteen (2, 3, 4) välille muodostetaan tiedonsiirtoyhteys informaation siirtämiseksi ainakin osittain langattomasti. Siirrettävästä informaatiosta muodostetaan paketteja, ja määritetään pakettivirhesuhde (PER). Tiedonsiirtojärjestelmässä yhteyttä varten on valittavissa ainakin kaksi eri modulaatiomoodia. Menetelmässä käytetään modulaatiomoodin valinnassa sumeaa säättöä, jossa ainakin yhtenä muuttujana käytetään mainittua määritettyä pakettivirhesuhdetta (PER).

Fig. 2

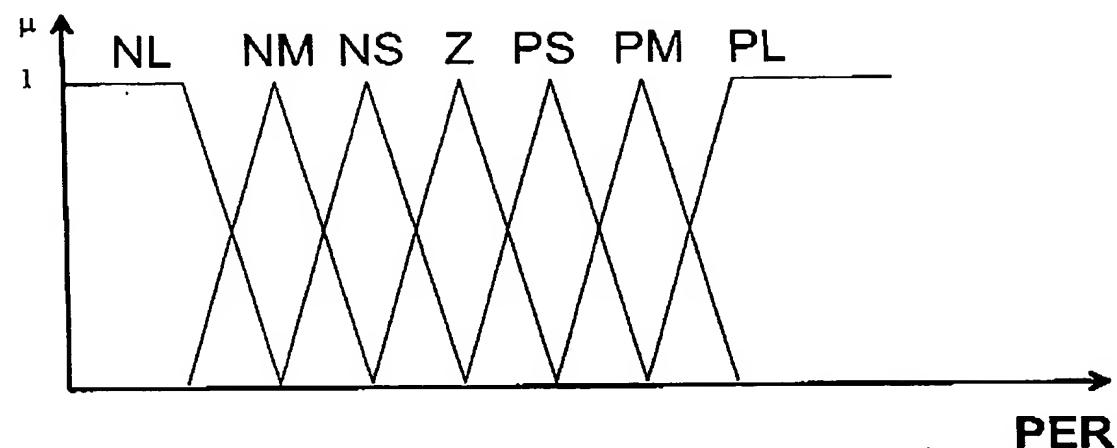


Fig. 1a

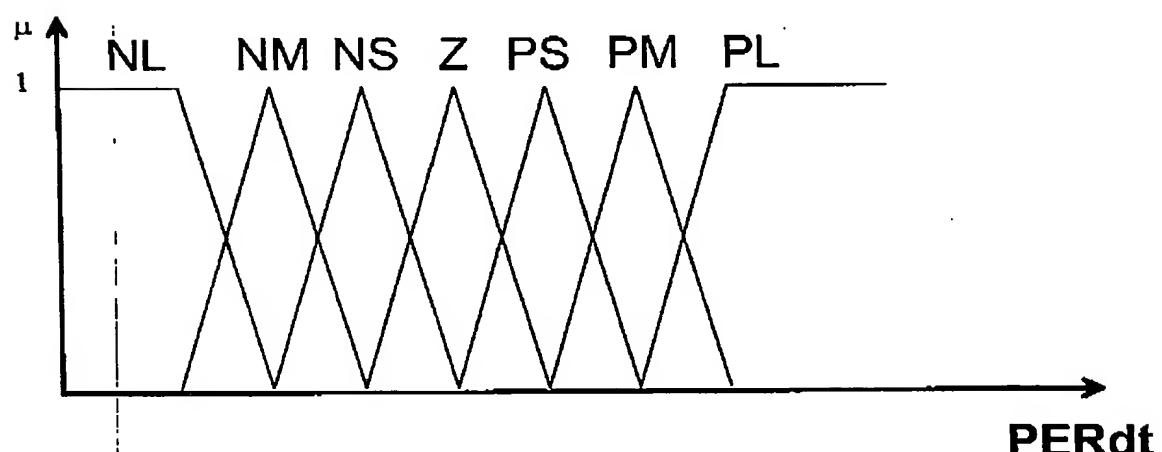


Fig. 1b

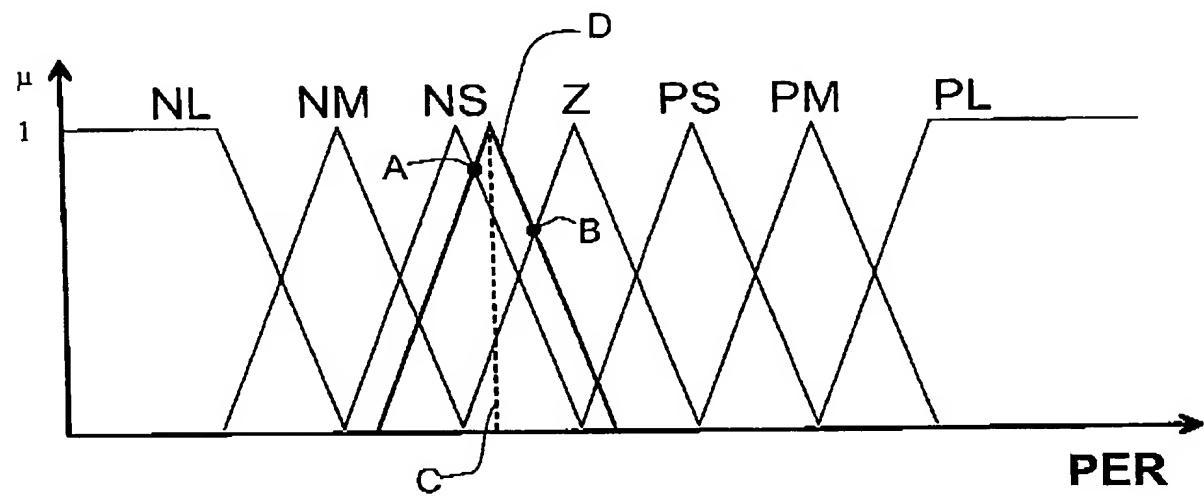


Fig. 2

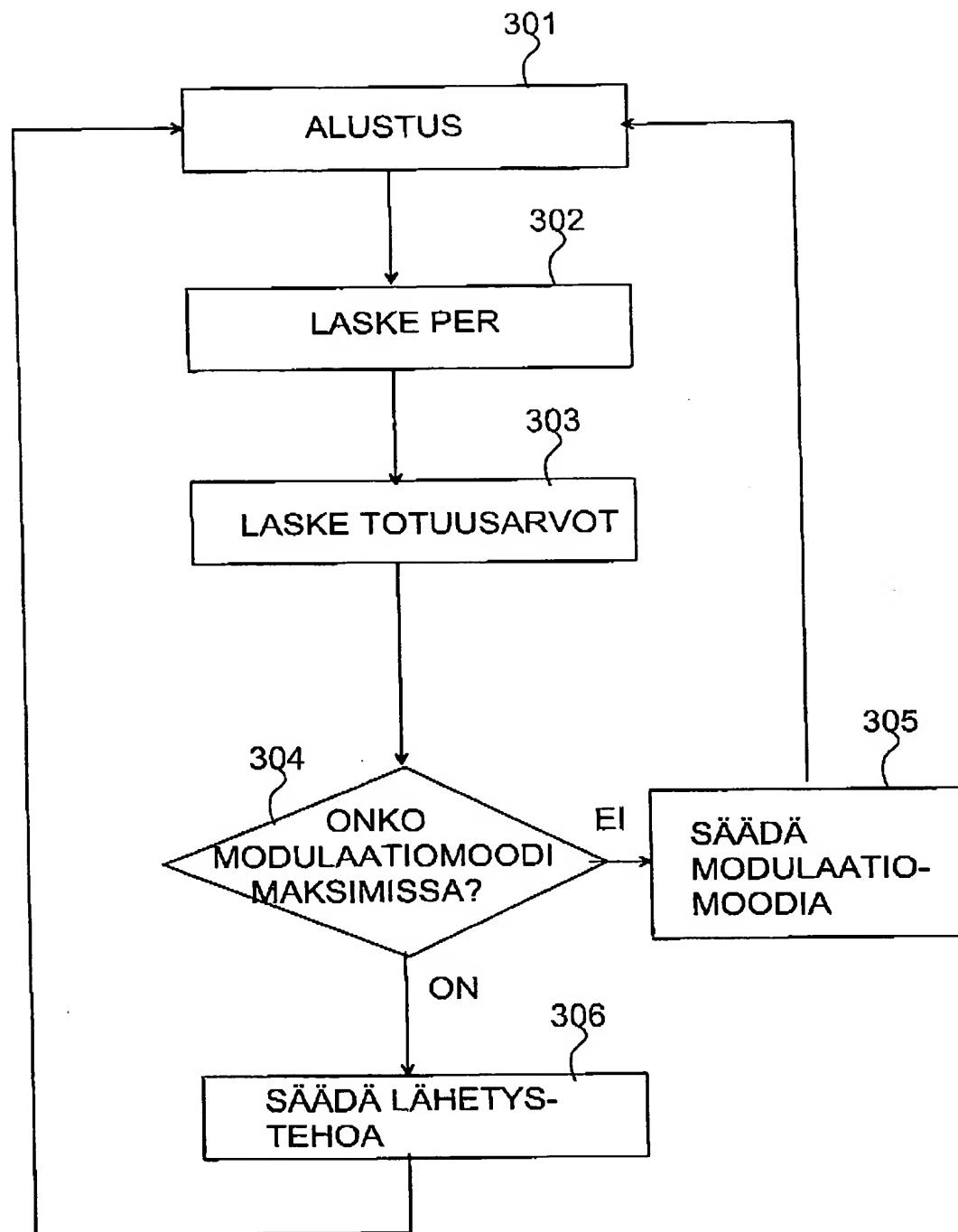


Fig. 3a

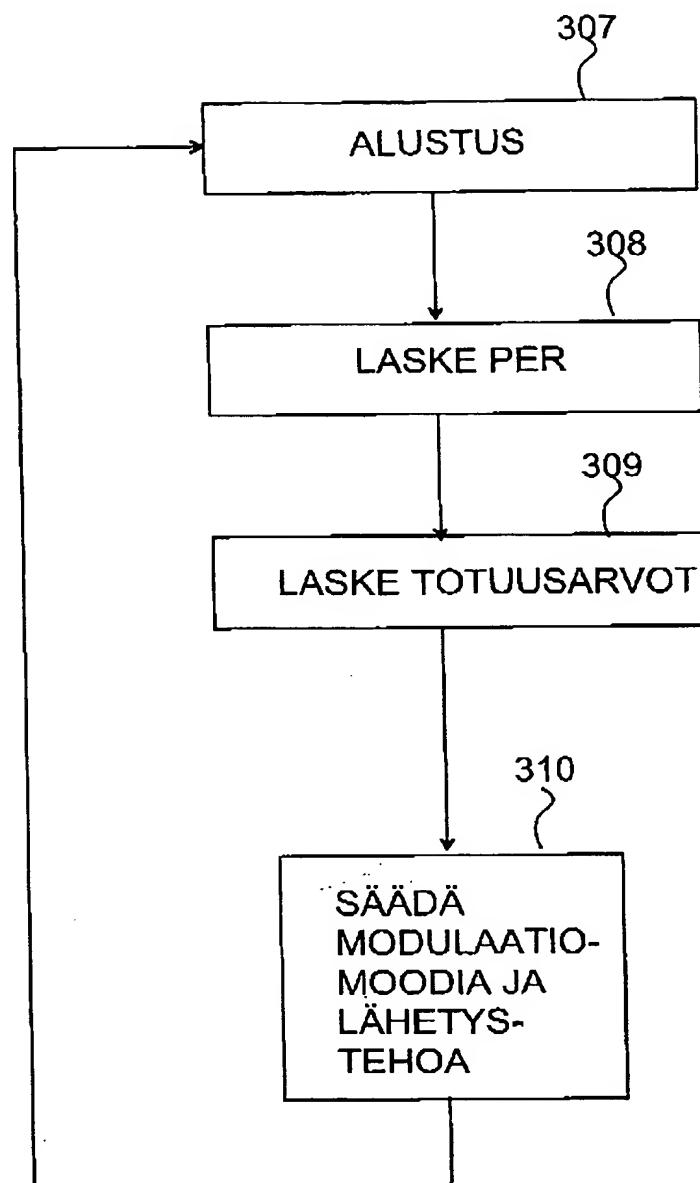


Fig. 3b

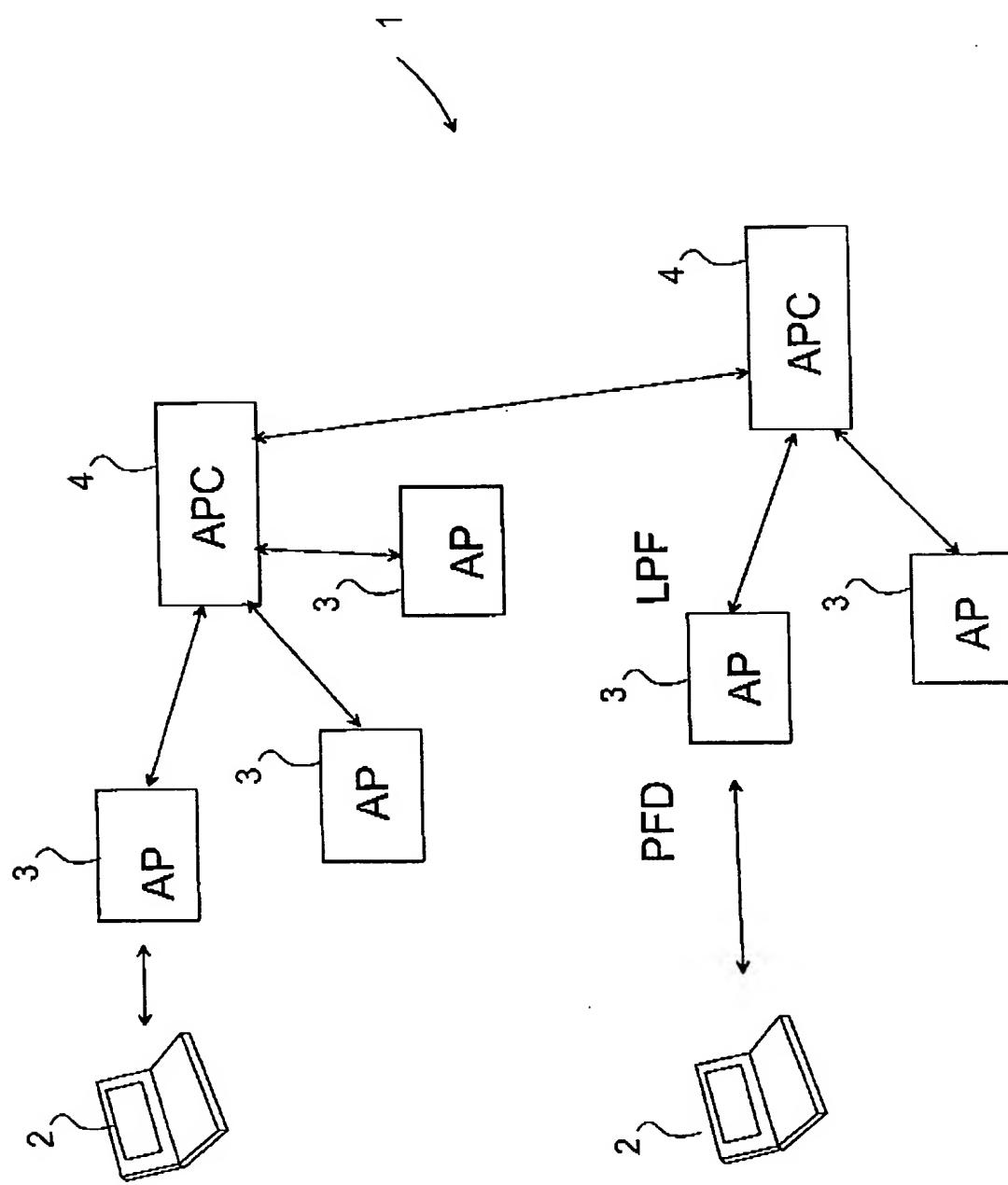


Fig. 4

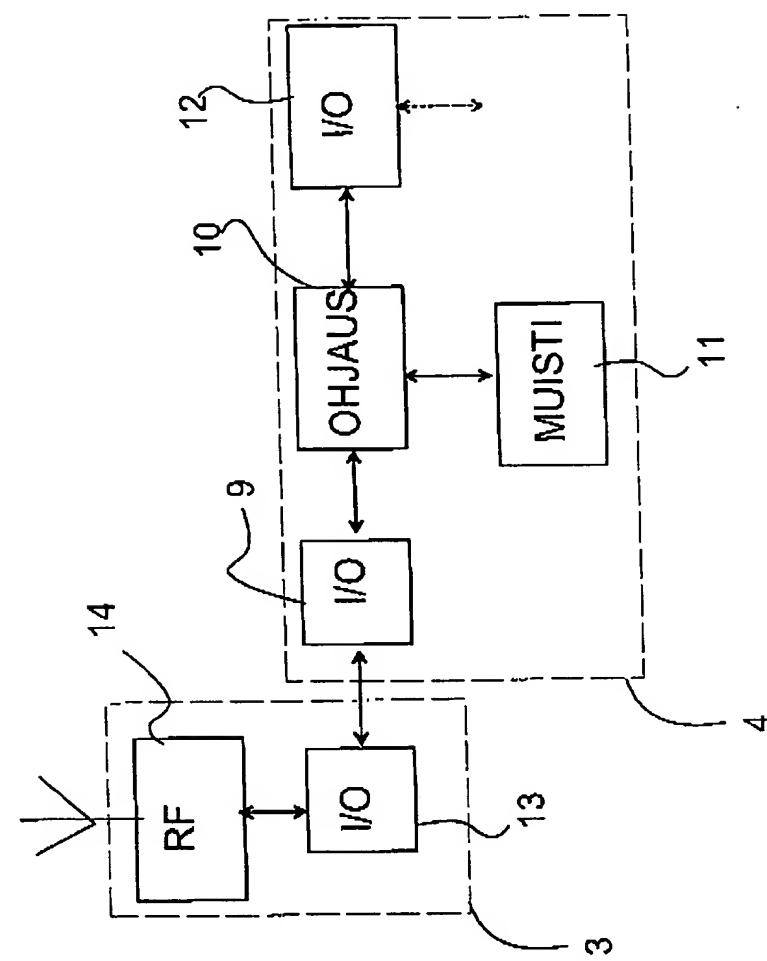


Fig. 5b

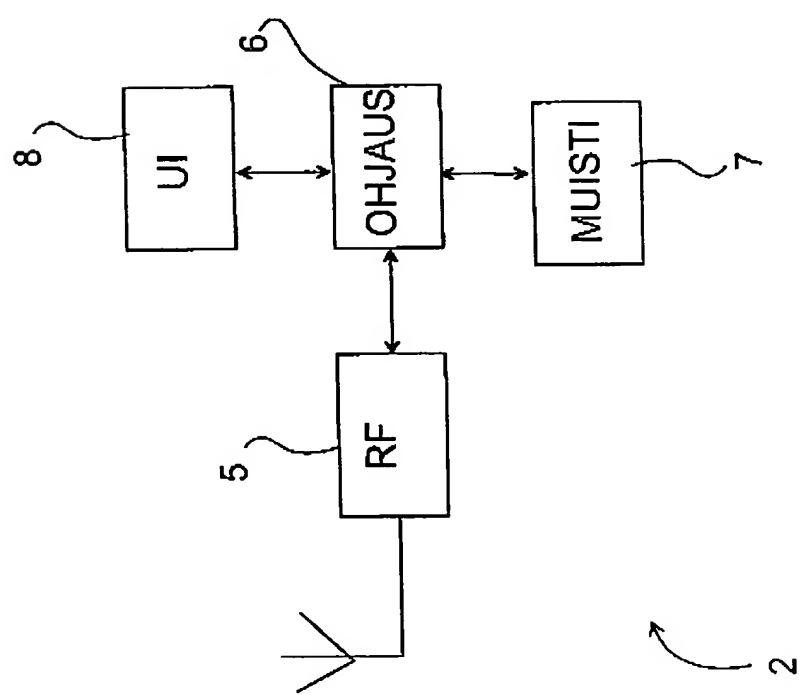


Fig. 5a

JC979 U.S. PTO
10/033451

12/27/01

C E R T I F I C A T E

I, Tuulikki Tulivirta, hereby certify that, to the best of my knowledge and belief, the following is a true translation, for which I accept responsibility, of Finnish Patent Application 20002875 filed on 28 December 2000.

Tampere, 13 December 2001



Tuulikki Tulivirta
Certified Translator (Act 1148/88)

Tampereen Patenttitoimisto Oy
Hermiankatu 6
FIN-33720 TAMPERE
Finland

Method for performing link adaptation

The present invention relates to a method for performing link adaptation as presented in the preamble of the claim 1. The invention further relates to a communication system as set forth in the preamble of the appended claim 12. The invention relates also to an access point controller as set forth in the preamble of the appended claim 15. The invention further relates to a wireless terminal as set forth in the preamble of the appended claim 16.

10

As wireless communication is constantly increasing, it will be all the more important to control the use of communication networks, so that as many communication connections as possible could be used simultaneously. On the other hand, even in view of portable communication devices, the amount of energy used for the communication should be kept as low as possible, however, in a manner that the quality of the connection is not deteriorated too much. To achieve these objects, some communication networks utilize different transmission powers and different modulation methods on the basis of the combination that can bring about an optimal result at the time. Eight different modulation modes (indexes 1 to 8) have been described to be used for example in the standard 802.11a of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE and the standard HIPERLAN/2 of the ETSI organisation. These modulation modes and the different parameters corresponding to them have been presented in the accompanying Table 1. The modulation method used in said system is the orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). It is known that different packet error rates (PER) can be attained with different modulation modes in situations in which the signal to interference ratio (s/i) is constant. Thus, the system should optimise the communication connection in such a manner that the transfer rate of the signal is optimal, that is, the packet error rate is as close to a predefined value as possible or lower than that, and that the transmission power is as low as possible. However, said standards leave it open how the selection is carried out.

15

20

25

30

35

Index	Data speed (Mbit/s)	Modulation	Coding ratio (R)	Codes/low carrier wave (N _{BPCS})	Codes/OFDM symbol (N _{CBPS})	Data bits/OFDM symbol (N _{CBPS})
1	6	BPSK	1/2	1	48	24
2	9	BPSK	3/4	1	48	36
3	12	QPSK	1/2	2	96	48
4	18	QPSK	3/4	2	96	72
5	24	16-QAM	1/2	4	192	96
6	36	16-QAM	3/4	4	192	144
7	48	64-QAM	2/3	6	288	192
8	54	64-QAM	3/4	6	288	216

TABLE 1

5 Some communication systems utilize free frequency bands. Some fixed wireless communication networks use frequency bands that require no licences to use. These frequency bands include for example the frequency bands of 2.4 GHz and 5.8 GHz. Since no licences are required for using these frequency bands, several various 10 communication systems can be in use in the same frequency band. Using these frequency bands puts certain demands on efficient link adaptation, because the optimisation between the robustness and the spectrum efficiency of the system must be performed in the use of the frequency bands. Such systems do not necessarily have a server that 15 controls the system, but terminals connected to the system can together select the channel and modulation method to be used. These networks include for example the MESH networks. In such systems the meaning of efficient link adaptation is emphasized so that the communication can be performed as efficiently as possible with every 20 connection, and that the disturbing effect of the connection to other simultaneous communication connections can be minimized.

The international patent publication WO 97/41675 presents an adaptive air interface, which can be applied in cellular communication networks.

The air interface comprises various information elements having function parameters, such as the rate, the distance, the delay, the delay entropy, the bit error rate (BER), the capacity and the data rate of the wireless communication device. In the method presented in the publication the adjustment is performed by means of a machine with states, in which machine the values to be adjusted are concluded according to several variables. An example presented in the publication uses seven inputs by means of which seven outputs are controlled. Consequently, one of the disadvantages in such a system is that complex inference is required for selecting an optimal alternative at a time.

Adapting prior art control systems in link adaptation is cumbersome, for example because the system comprises many values and variables influencing the control. Consequently, it is difficult to define the accurate dependencies between the controllable values and variables, and the control algorithms can become complex.

Control systems based on fuzzy logic have been developed, in which a variable affecting the control and an adjustable starting value, as well as the dependency between these two, can have more alternative values than in traditional systems. For example in the power control, the selectable power values can be positive small, positive medium and positive large, wherein the values of the parameters influencing the power control determines which starting power is selected. In order to implement fuzzy control, fuzzy rules, if-then rules are formulated. These fuzzy rules define how the value of linguistic variables affects the control at a given time. In the implementation of the fuzzy control system the linguistic variables and rules are yet to be converted to a form appropriate for the control system, which is called defuzzification. In defuzzification, fuzzy sets are formed which comprise alternative values defined for the linguistic variable. For example in said example of the power control, the power values can be set for example in such a manner that the positive small power is approximately 0.2 W, the positive medium power is approximately 0.5 W, and the positive large power is approximately 1 W.

It is an aim of the present invention to provide a method for implementing link adaptation in a communication system, and a communication system in which fuzzy logic is used in the implementation of the link adaptation. The invention is based on an

5 idea that a set of fuzzy logic rules is formulated in such a manner that the packet error rate and the change rate of the packet error rate are used as values influencing the control. Thus, the modulation mode and the transmission power control are selected in accordance with the rules of fuzzy logic. More precisely, the method according to the

10 invention is primarily characterized in what will be presented in the characterizing part of the appended claim 1. The communication system according to the invention is primarily characterized in what will be presented in the characterizing part of the appended claim 12. The access point controller according to the invention is primarily

15 characterized in what will be presented in the characterizing part of the appended claim 15. Further, the wireless communication device according to the invention is primarily characterized in what will be presented in the characterizing part of the appended claim 16.

20 An aim of the method according to a preferred embodiment of the invention is to adjust the packet error rate to a predefined target value. The packet error rate does not necessarily remain below this target value, but it can vary slightly on both sides of the target value. Nevertheless, in practice simulations have proved that the packet error

25 rate remains adequately below the target value.

30 The present invention shows remarkable advantages compared to solutions of prior art. In the method according to a preferred embodiment of the invention, the modulation mode and the transmission power level are used as the controllable values. In this control, the fuzzy logic is utilized, wherein the control system can better handle the variable changes affecting the controls compared to conventional control systems based on binary logic. When applying fuzzy logic in the link adaptation, it is possible to select each time a

35 modulation method that is as optimal as possible and thus achieve the best possible data rate with the lowest possible power and still keep the packet error rate close to the predefined limit. Thus, the power

used in the communication system is not unnecessarily high, which for example reduces the noises directed to other radio devices, and several radio devices can also operate simultaneously in the same area. The method according to the invention can also be used for reducing the power consumption, because the transmission power used is not unnecessarily high and also because the data signalling rate used is always as high as possible, wherein the information can be transmitted as fast as possible.

10 In the following, the present invention will be described in more detail with reference to the appended drawings, in which

15 Fig. 1a illustrates the fuzzy control values of the packet error rate used in connection with a preferred embodiment of the method according to the invention,

20 Fig. 1b illustrates the fuzzy control values of the packet error rate change used in connection with a preferred embodiment of the method according to the invention,

25 Fig. 2 illustrates an example where a true packet error rate is converted to a corresponding fuzzy control value,

30 Fig. 3a shows the method according to a preferred embodiment of the invention in a flow chart,

35 Fig. 3b shows the method according to another preferred embodiment of the invention in a flow chart,

Fig. 4 shows the communication system according to a preferred embodiment of the invention in a reduced block chart,

Fig. 5a shows the wireless terminal according to a preferred embodiment of the invention in a reduced block chart, and

Fig. 5b shows the access point according to a preferred embodiment of the invention in a reduced block chart.

In the following, the method according to the first preferred embodiment of the invention will be described in more detail with reference for example to the communication system shown in Fig. 4.

5 To exemplify the communication system 1 a system according to the HIPERLAN/2 standard is used, but it is obvious that the invention can be adapted also in other types of communication systems. It is presumed that the communication system 1 can utilize the modulation modes illustrated in the above-described Table 1. Thus, in the

10 communication between the wireless terminal 2 and the communication system 1 one of these selectable modulation modes is selected at a time. The modulation mode is selected for example in the connection set up and, if necessary, the modulation mode can be changed also during the connection if the conditions have changed to

15 the extent that the packet error rate has changed to a significant degree. To set up a connection, the wireless terminal 2 and the connection system 1 communicate advantageously through access points 3. Each access point 3 is controlled by an access point controller 4. However, more than one access points 3 can be controlled by the

20 same access point controller 4. When the connection set up is initiated, the modulation mode is selected among a set of selectable modulation modes. This selection can be performed for example in such a manner that one modulation mode is selected as the default modulation mode, wherein it is selected at beginning of the connection. On the other

25 hand, the selection of the modulation mode can be based on the modulation mode used in other wireless terminals 2 that are simultaneously connected with said access point 3. In this latter alternative, it is presumed that the conditions are approximately the same to all the wireless terminals 2 connected with the access point 3.

30 In the method according to a preferred embodiment of the invention, the transmission power is, however, set at the connection set up preferably to the highest allowed value regardless of the selected modulation mode. This is done so that the modulation mode could be selected as soon as possible. After an appropriate modulation mode

35 has been selected, the transmission power is set to an appropriate level, as presented later in this description. This initialisation phase is illustrated in the flow chart of Figure 3 by block 301.

After the initialisation phase 301, in the method according to a preferred embodiment of the invention, the packet error rate is defined which corresponds to the selected modulation mode (block 302) at the 5 phase when a sufficient amount of packets have been received, for example approximately n packets. This packet error rate PER is affected for example by the modulation mode and the transmission power used, and the noise level, which can be influenced for example by other nearby radio devices (interference), and communication 10 losses. Subsequently, the variables and the controllable values necessary in fuzzy control are defined on the basis of the defined packet error rate PER (block 303).

In the method according to a preferred embodiment of the invention, 15 the modulation mode and the transmission power level are used as the controlled values. In order to implement the control system based on fuzzy logic, the variables affecting the control of the system are defined. In the method according to a preferred embodiment of the invention, the variables selected are the packet error rate PER and the 20 change rate of the packet error rate PERdt. The change rate of the packet error rate PERdt is the derivative of the packet error rate describing the stability of the packet error rate. The change rate of the packet error rate can be zero or close to zero also in a situation in which the true packet error rate is far from the target value of the 25 packet error rate. Thus, the change rate of the packet error rate defines only indirectly how much the true packet error rate differs from the target value of the packet error rate, because when the packet error rate differs from the target value, the modulation is very likely to change and, at the same time, the change of the packet error rate is 30 likely to be different from zero. To remove instability from the control system, an attempt is made to keep the changes of the modulation relatively small, particularly when the packet error rate is close to the target value of the packet error rate.

35 The packet error rate PER is calculated advantageously after n pieces of packets have been received and/or when the data rate or the transmission power changes. In addition to said variables, the fuzzy

rules, that is, the so-called "if-when" rules, have to be defined. With these fuzzy rules, the selected variables are connected to each other in such a manner that an adjustment value is obtained for controlling the desired controllable value, in this example in order to change the 5 modulation mode and/or the transmission power. To implement this, fuzzy sets are defined for the variables advantageously in such a manner that the first fuzzy set is composed of the values selected for the first variable, which in this case means different values selected for the packet error rates PER. Correspondingly, the second fuzzy set is 10 composed of the values selected for the second variable PERdt. The accompanying Table 2 exemplifies the dependency between the fuzzy sets and the fuzzy rules in the system according to a preferred embodiment of the invention. In this embodiment the fuzzy sets comprise seven different elements, but it is obvious that the invention 15 can also be applied in other types of fuzzy sets. Practical experiences have indicated that fuzzy control can usually be adequately implemented with a set of seven elements. The larger the fuzzy set, the more easily the control will be unstable. In practice it has been discovered that the control will usually be sufficiently stable with said 20 set of seven elements.

		PER							
		NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
NL	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1			
NM	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1		N	N_1	
NS	P_4	P_3	P_2	P_1		N	N_1	N_2	
Z	P_3	P_2	P_1		N	N_1	N_2	N_3	
PS	P_2	P_1		N	N_1	N_2	N_3	N_4	
PM	P_1		N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	
PL	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6		

TABLE 2

25 The variables PER, PERdt can have the values positive large PL, positive medium PM, positive small PS, negligible Z, not small NS, not medium NM, and not large NL. In the present example, the fuzzy rules can have the values N_6 to P_6 depending on the values of the

variables PER, PERdt at the time. These fuzzy rules define how much the index of the modulation mode will be changed. For example, if the packet error rate PER has the value positive large (PL) and the change rate of the packet error rate PERdt is positive small (PS), the change in the index of the modulation mode will then have the value N_4. On the basis of the fuzzy rules described in Table 2 it can be noted for example that the smaller the packet error rate PER, the larger the data transmission rate and the modulation mode can be, wherein the values of the elements increase from right to left on the horizontal rows of Table 2. Correspondingly, the change rate of the packet error rate PERdt usually denotes how far the true packet error rate is from the wished packet error rate, wherein the smaller the change rate of the packet error rate, the larger the modulation mode can be, wherein the values of the elements decrease from top to bottom.

15 After having been formulated, the fuzzy rules must be converted to apply to a real system. When a fuzzy set is matched, its elements are replaced by numbers, that is, by centroid values. Table 3 shows centroid values selected to the packet error rate in the method according to a preferred embodiment of the invention. In a corresponding manner, Table 4 shows centroid values selected for the change rate of the packet error rate. Typically an element of the fuzzy set is defined as a triangle that is substantially isosceles in relation to the centroid of the element. This triangle indicates a truth value μ . The truth value μ can have values 0 to 1, wherein the base of the triangle has the value $\mu=0$, and the centroid has the value $\mu=1$. Thus, for example the packet error rate PER obtains the set of curves shown in the accompanying Fig. 1a. The set of curves has been formulated by applying the centroid values selected to the packet error rate in accordance with Table 3. In a corresponding manner, Fig. 1b shows a set of curves formulated according to Table 4 for the change rate of the packet error rate. In this example, the centroids have been selected at regular spaces, wherein the triangles are of the same size, but the centroid values can be selected also in such a manner that some points have a more accurate or a more approximate adjustment than some other points. Thus, the differences in the centroid values are at such points correspondingly either smaller or larger. It is obvious that

the numerical values are in this context presented only to clarify the invention, not to limit the scope of the invention.

5

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13

TABLE 3

PERdt	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	-0.006	-0.004	-0.002	0	0.002	0.004	0.006

TABLE 4

10

A so-called overlap ratio can be calculated from Tables 3 and 4, which overlap ratio illustrates how smoothly the control system operates. The larger the overlap ratio, the smoother control is achieved. The overlap ratio can be calculated with the following formula:

15

Overlap ratio = $(U-L)/\text{control area}$,

(1)

20 in which the control area is the overall control area and U and L are points at which the truth value $\mu = 0$. When the values of Tables 3 and 4 are used, an overlap ratio of 0.17 ($=(0.08-0.07)/(0.13-0.07)$) is obtained.

N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2

TABLE 5

25

Table 5 shows also the truth values corresponding to the control group of the control system according to a preferred embodiment of the present invention. The values of Table 5 show how much the index of the modulation mode changes in different situations. To calculate the 30 change in this modulation mode, at first the packet error rate must be

converted to a corresponding fuzzy control variable. This is exemplified by Fig. 2 corresponding to the set of curves in Fig. 1a, wherein a triangular D has also been drawn having an apex at a point corresponding to the true packet error rate (line C). This triangle D intersects the adjacent triangles (NS and Z) at certain points A, B. The probability values μ_i , which correspond to these intersection points and in which $i=1,2$, can be used in the calculation of the modulation index for example according to the following formula:

$$10 \quad dMode = \sum_{i=1}^2 \mu_i \cdot LABEL \quad (2)$$

in which LABEL is a value according to the fuzzy rules obtained on the basis of Tables 2 and 5. From Table 2 it is clarified the deviation of the target value of the selected packet error rate and the true packet error

15 rate PER from the wished target value, and the controllable value according to the change rate of the packet error rate PERdt, whereafter Table 5 gives the truth value corresponding to the controllable value, which truth value is used as the variable LABEL in the afore-described formula (2). In the exemplified situation of Fig. 2 the control value is
20 selected from the column NS, on the row that corresponds to the change rate of the packet error rate. If the change rate of the packet error rate is for example NM, the selected controllable value is P_3. Consequently, the variable LABEL has the value 0.6. However, the index change of the modulation mode must be an integer, wherein the
25 change $dMode$ calculated in accordance with the formula is rounded to the nearest integer. The new modulation mode index is the sum of the old modulation mode index and the modulation mode change, represented in the formula:

$$30 \quad Mode = Mode + dMode \quad (3)$$

This rounding to an integer causes rounding errors, which can cause vibration in the impulse response of the system and so-called ringing, which should be compensated.

5 In the method according to a preferred embodiment of the invention, in order to minimize the vibration and ringing, information is maintained about the maximum modulation mode when the packet error rate PER is below a predefined limit, about the transmission power level related to this maximum modulation mode, and about the packet error rate.

10 Next in the method it is examined whether a packet error rate corresponding substantially to the desired packet error rate is obtained with the modulation mode selected according to the performed adjustment (block 304). If the packet error rate still differs significantly from said limit value, the modulation mode is set to correspond substantially to the above defined new modulation mode (block 305), wherein the settings corresponding to the modulation mode are advantageously implemented in accordance with Table 1. The afore-
15 presented fuzzy control phases are repeated subsequently.

20 After the maximum modulation mode has been found in the initialising phase, the transmission power is set to a level in which the required packet error rate can be maintained (block 306). Fuzzy logic is advantageously applied also in this context. Correspondingly, the accompanying Table 6 presents the fuzzy rules applicable to this control of the transmission power level and Table 7 presents the truth values corresponding to the same.

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3

25 TABLE 6

N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3
1	0.67	0.33	0	-0.33	-0.67	-1

TABLE 7

30 In the calculation of the transmission power level, the same principles can be applied as above in the selection of the modulation mode. The variable used is also here the packet error rate PER. Thus, the index

change of the transmission power level can be calculated with the following formula:

$$dTx = \sum_{i=1}^2 \mu_i \cdot LABEL \quad (4)$$

5

in which

dTx = the index change of the transmission power level,

μ_j = the value of the probabilities corresponding to the intersection points,

10 j = 1, 2, and

$LABEL$ = the truth value of the element.

In this case the change value dTx can also be rounded up to the nearest integer in order to change the index of the transmission power

15 level. The new index of the transmission power level is obtained by summing up the old index of the transmission power level and the index change of the transmission power level calculated with the formula (4):

$$20 \quad Tx = Tx + dTx \quad (5)$$

The real power corresponding to the index of the transmission power level and set to the transmitter can be selected for example on the basis of Table 8.

25

The above-described adjustments are repeated during the connection, wherein the changes that may take place in the connection conditions can be taken into account by changing the modulation mode and/or the transmission power.

30

In the method according to a preferred embodiment of the invention, said maintained information, such as the maximum modulation mode, the transmission power level corresponding to the same, and the packet error rate, are set back to their default values. This is done in order to clarify whether it is possible to achieve an even faster data rate. If the modulation mode is changed in this situation, and the packet

error rate, as a result of this, exceeds the predefined limit value, the control system of the invention readjusts itself back to the optimal state, in which the maximum modulation mode is used, by which the packet error rate can be kept below said limit value.

5

Another preferred embodiment of the method in accordance with the invention will be described with reference to Fig. 3b. In this embodiment, one of the applicable modulation modes and transmission powers is selected in the initialisation phase (block 307). The transmission power does not need to be the highest possible, but some other value can also be selected. During the operation, the packet error rate PER and the change rate of the packet error rate PERdt are defined (block 308). These defined values PER and PERdt are used as the input parameters of fuzzy control (block 309), according to which parameters the control is performed for example using Tables 5 and 7 (block 310). The control gives as result the modulation mode and the transmission power, which are used until the next control round has been performed and possibly another modulation mode and/or transmission power has been selected. In this embodiment, the modulation mode and the transmission power are controlled continuously, wherein information on the maximum modulation mode, in which the packet error rate remains substantially as high as or lower than the defined target value, does not need to be maintained in the system, nor information on the corresponding transmission power. Because both the modulation mode and the transmission power are controlled substantially simultaneously in this embodiment, more emphasis must be put on the selection of the control parameters in this embodiment compared to the above-described method according to the first preferred embodiment of the invention in order to minimize the vibration and ringing effect.

Fig. 5a illustrates, in a reduced block chart, a wireless terminal 2 in which the present invention can be applied. The wireless terminal 2 comprises advantageously a radio part 5 in order to perform, in a communication system, wireless communication with other equipment, such as the access point 4 and/or the wireless terminals 2. A control block 6 is used for controlling the operation of the wireless terminal 2.

35

Memory means 7 are used for example for storing program codes required in the operation of the wireless terminal 2, and for storing of information during operation. The user interface 8 comprises advantageously, in a manner known as such, audio equipment, such 5 as an earpiece and a microphone, a display and a keypad, which, however, are not illustrated in the appended figures.

Fig. 5b illustrates, in a reduced block chart, an access point controller 4 in which the present invention can also be applied. The access point controller 4 comprises first communication equipment 9 for communication with the access point 3. The access point 3 has corresponding communication equipment 13. Additionally, the access point controller 4 has a memory block 10 and memory means 11. The access point controller 4 can communicate through other communication equipment 12 with other access point controllers 4 and/or with other communication systems, such as with a public switched telephone network and/or a wireless telecommunication network. Radio communication with the wireless terminal 2 is performed with a radio part 14 arranged in the access point 3.

20 The present invention can be applied advantageously in the access point controller 4, which performs the above-described control functions on the basis of the signals received from the wireless terminal 2. The control phases according to the invention can, to a great extent, 25 be implemented for example as a program code of the control block 10 of the access point controller 4. It is obvious, that the method according to the invention can also be applied in a wireless terminal 2. In addition, the application can be applied in such communication systems, in which none of the devices operates as the host, but each device 30 connected to the communication system can have direct contact with any of the other devices connected to the communication system. Thus, every terminal can adapt the method of the invention in different terminal connections. The tables of fuzzy control required in the method can be stored advantageously into the memory means 7, 11 of 35 the controlling device 2, 4.

It is obvious that the present invention is not limited solely to the above-presented embodiments, but it can be modified within the scope of the appended claims.

Claims:

1. A method for performing link adaptation in a communication system, in which two communication devices (2, 3, 4) are arranged to communicate with in order to transfer information at least partly wirelessly, packets are formed from the information to be transferred, the packet error rate (PER) is determined, and for which connection at least two different modulation modes can be selected, **characterized** in that the method uses fuzzy control in the selection of the modulation mode, and that at least one of the variables used in fuzzy control is said defined packet error rate (PER).

2. The method according to claim 1, **characterized** in that in the method a target value is determined to the packet error rate (PER), that the packet error rate (PER) is aimed to be kept substantially the same as the target value, and that the difference between the packet error rate (PER) and the target value is also used as a variable in the method.

3. The method according to claim 2, **characterized** in that for performing fuzzy control a first set of control values is formed, in which the packet error rate (PER) is used as a variable, a second set of control values is formed, in which the change rate of the packet error rate (PERdt) is used as a variable, and a set of fuzzy rules is arranged, which are used for determining the effect of the control values to the modulation mode used as a controllable value.

4. The method according to claim 3, **characterized** in that said control value sets are formed of the values: positive large (PL), positive medium (PM), positive small (PS), negligible (Z), not small (NS), not medium (NM), and not large (NL).

5. The method according to claim 4, **characterized** in that said set of fuzzy rules is determined on the basis of the following table:

PERdt	PER							
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
	NL	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N
	NM	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1
	NS	P_4	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2
	Z	P_3	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3
	PS	P_2	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4
	PM	P_1	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
	PL	N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6

6. The method according to claim 5, **characterized** in that said first set of control values comprised the following values:

5

PER	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13

that said second set of control values comprises the following values:

PERdt	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\mu=1$	-0.006	-0.004	-0.002	0	0.002	0.004	0.006

10 and that said set of fuzzy controls comprises the following values:

N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1	N	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2

15 7. The method according to claim 6, **characterized** in that in the method a set of modulation modes is defined, wherein for each modulation mode an individualizing index is defined, and in the method at least the following steps are taken:

- an initialisation phase, wherein one of said indexes is selected in order to select the modulation mode used in the communication connection,

20

- a computing phase, in which the difference of the packet error rate from the target value, and the change rate of the packet error rate are calculated, and
- a fuzzy control phase, in which fuzzy control is used for defining the index change of the modulation mode, wherein the modulation mode according to the calculated new index is selected for the communication connection.

5 8. The method according to claim 7, **characterized** in that said calculating phase and the fuzzy control phase are repeated.

10 9. The method according to any of the claims 1 to 8, **characterized** in that the transmission power is also controlled in the method.

15 10. The method according to claim 9, **characterized** in that in the method the modulation mode is adjusted until a such modulation mode is obtained, by which the packet error rate (PER) is substantially the same as said target value of the packet error rate, whereafter the transmission power is adjusted by using fuzzy control.

20 11. The method according to claim 9, **characterized** in that the modulation method and the transmission power are selected substantially simultaneously.

25 12. A communication system (1), comprising means (5, 14) for arranging two communication devices (2, 3, 4) to communicate with each other in order to transfer packet-form information at least partly wirelessly, means (6, 10) for determining a packet error rate (PER), and means (6, 10) for selecting for the connection a modulation mode from at least two modulation modes, **characterized** in that the communication system (1) comprises means (6, 10) for using fuzzy control in the selection of the modulation mode, and that at least one variable arranged to be used in fuzzy control is the packet error rate (PER).

30 13. The communication system (1) according to claim 12, **characterized** in that a target value is defined for the packet error rate (PER), that the means for the link adaptation comprise means for

adjusting the packet error rate (PER) to substantially the same as said target value, and that the difference between the packet error rate (PER) and the result value is additionally arranged to be used as a fuzzy control variable.

5

14. The communication system (1) according to claim 13, **characterized** in that for performing fuzzy control a first set of control values is formed, in which the packet error rate (PER) has been used as a variable, and a second set of control values, in which the change rate of the packet error rate (PERdt) has been used as a variable, and that a set of fuzzy rules has been formed for defining the influence of the control values of said variables to the modulation mode used as a controllable value.

10

15. An access point controller (4) comprising means (14) for arranging the access point controller (4) and at least one wireless terminal (2) to communicate with each other in order to transmit packet-form information at least partly in a wireless manner, means (10) for defining the packet error rate (PER), and means (10) for selecting for the connection a modulation mode from at least two modulation modes, **characterized** in that the access point controller (4) comprises means (10) for using fuzzy control in the selection of the modulation mode, and that in fuzzy control at least one variable that is arranged to be used is said defined packet error rate (PER).

20

16. A wireless terminal (2), comprising means (5) for transmitting packet-form information at least partly wirelessly in a communication connection arranged between the wireless terminal (2) and a second communication device (3, 4), means (10) for defining the packet error rate (PER), and means (10) for selecting for the connection a modulation mode from at least two modulation modes, **characterized** in that the wireless terminal (2) comprises means (10) for using fuzzy control in the selection of the modulation mode, and that in fuzzy control at least one variable that is arranged to be used is said defined packet error rate (PER).

30

35

Abstract:

The invention relates to a method for performing link adaptation in a communication system, in which two communication devices (2, 3, 4) are arranged to communicate with each other in order to transmit information at least partly in a wireless manner. Packets are formed of the information to be transferred, and the packet error rate (PER) is defined. In the communication system, at least two different modulation modes can be selected for the connection. The method utilizes fuzzy control in the selection of the modulation mode, wherein at least one of the used variable is said defined packet error rate (PER).

Fig. 2

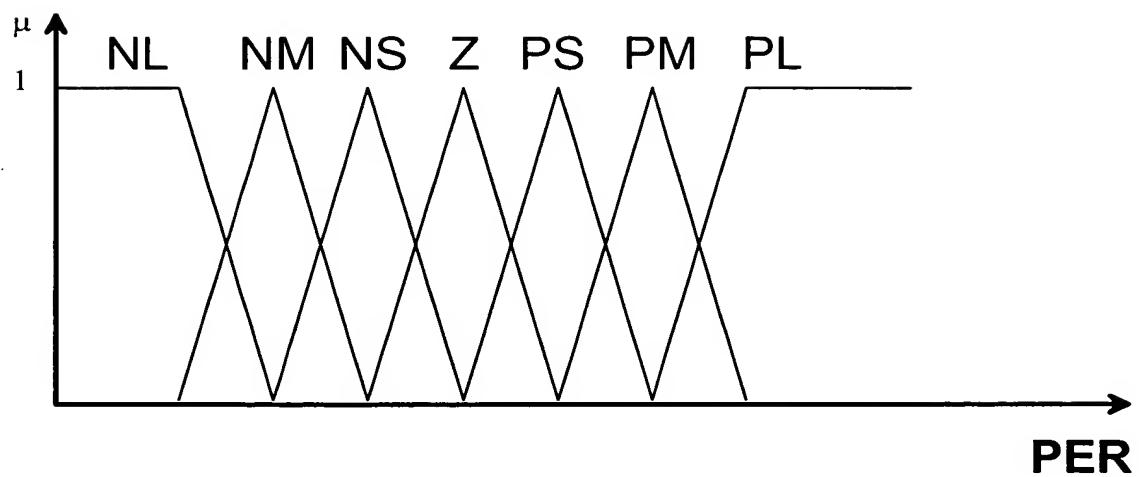


Fig. 1a

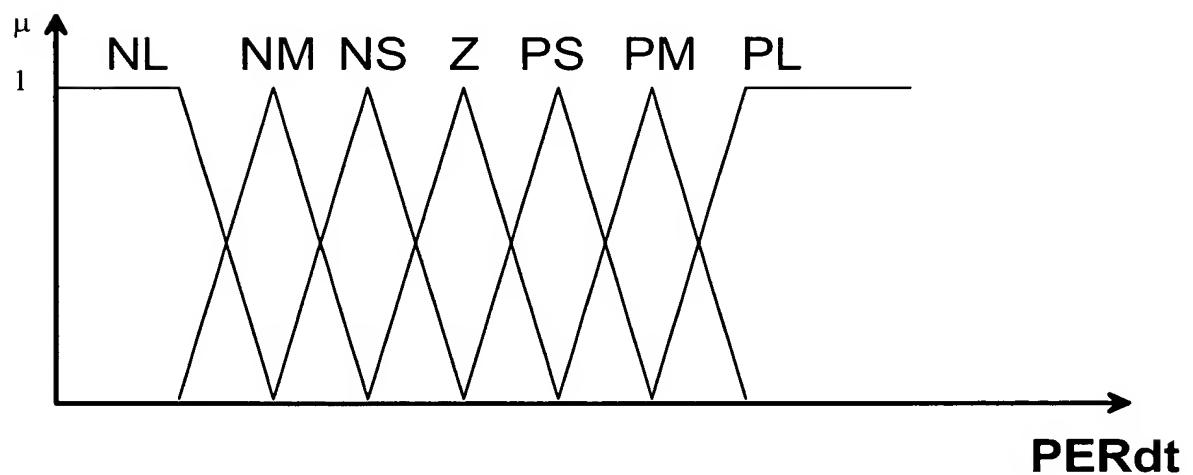


Fig. 1b

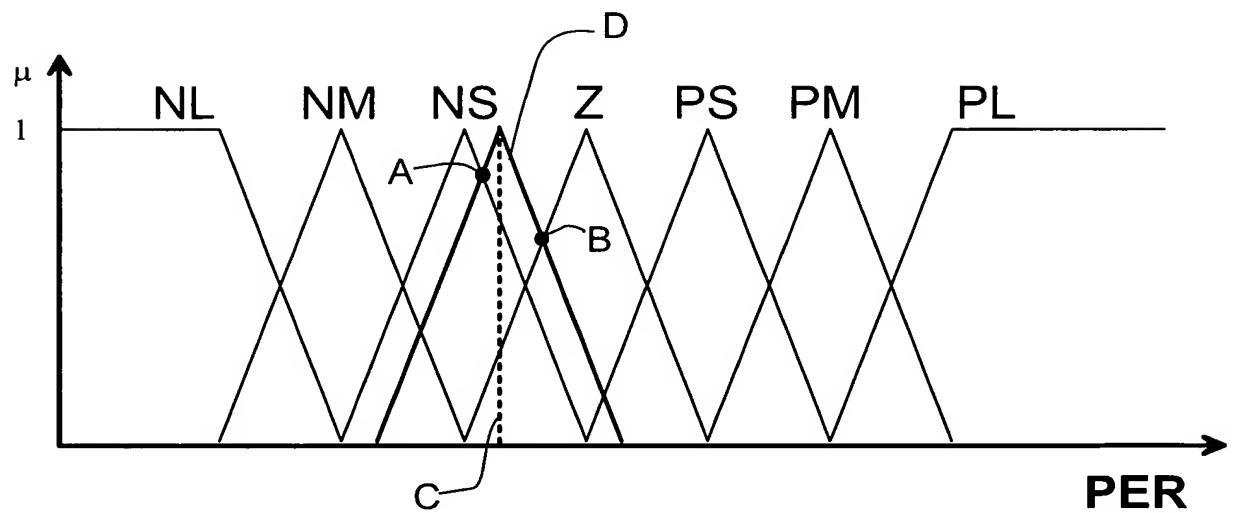


Fig. 2

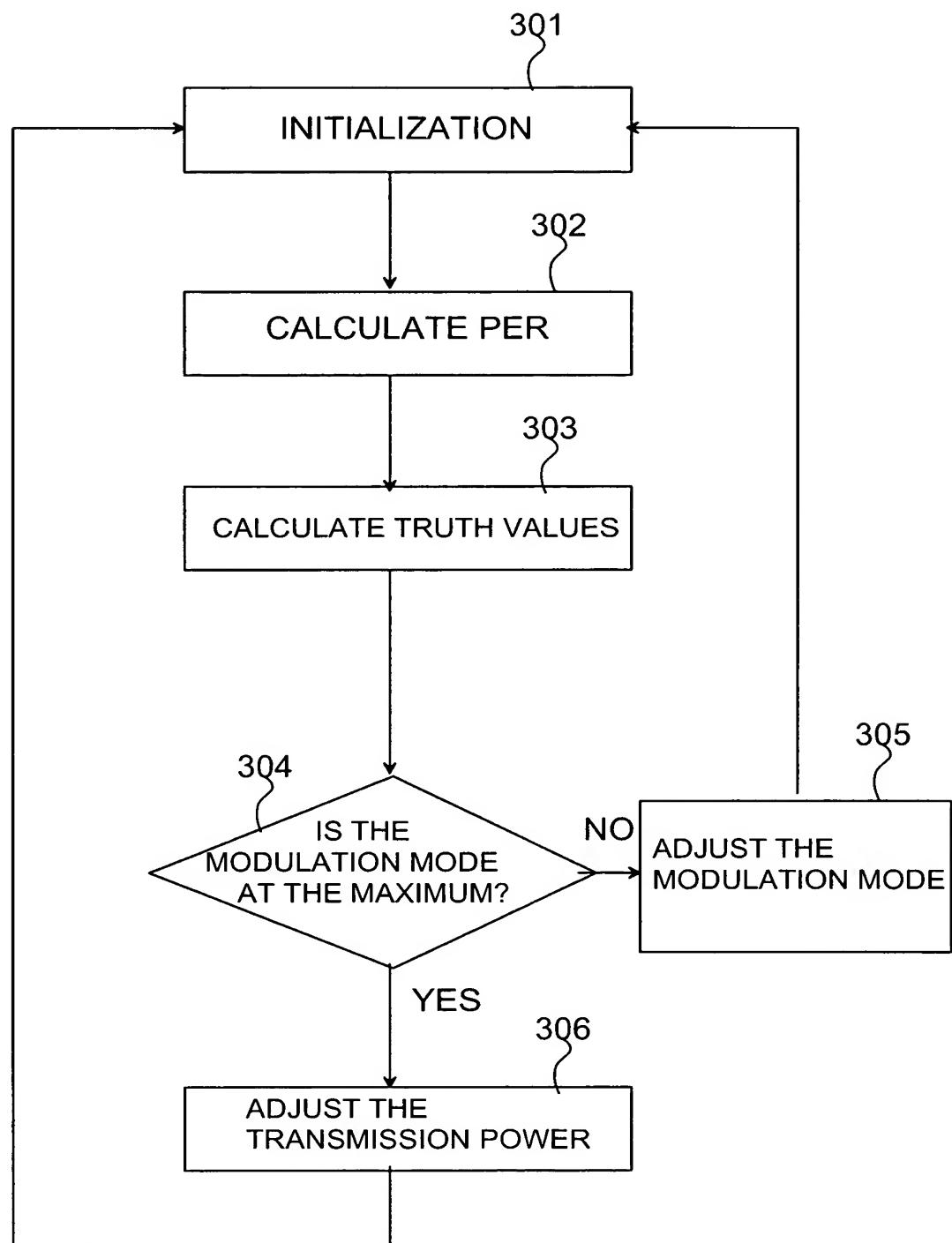


Fig. 3a

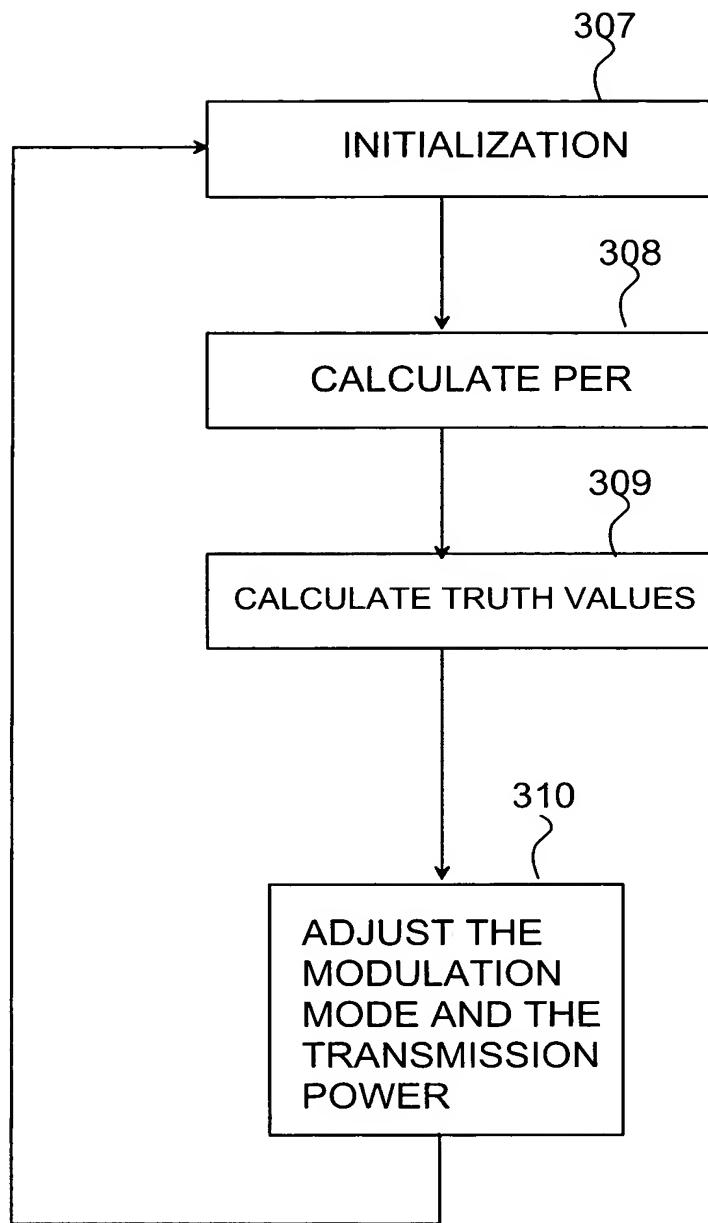


Fig. 3b

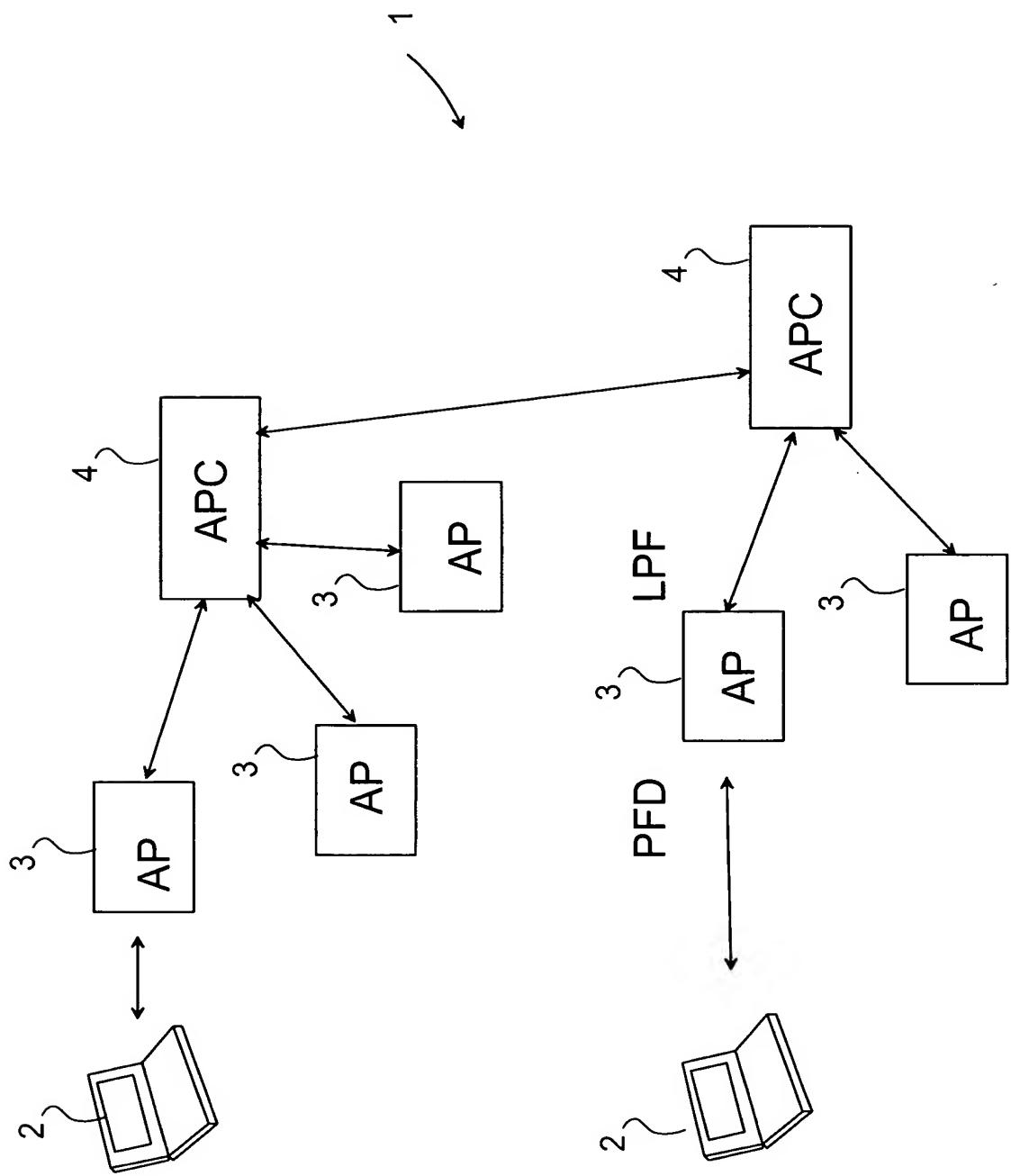
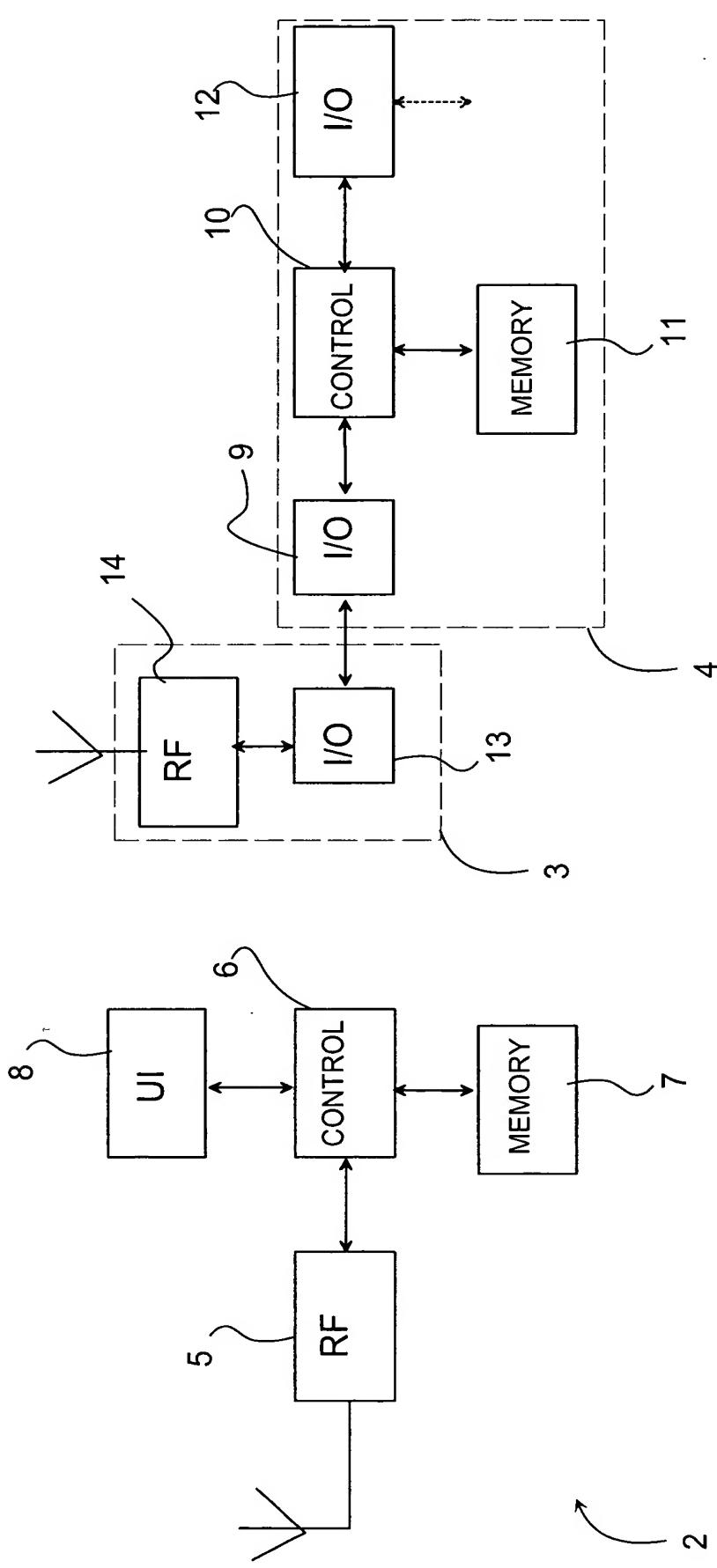


Fig. 4



11.02.2002

Tampereen Patenttitoimisto Oy
Hermiankatu 6
33720 Tampere

Patentihakemus nro: 20002875
Luokka: H04L / JEN
Hakija: Nokia Corporation
Asiamies: Tampereen Patenttitoimisto Oy
Asiamiehen viite: TP100228/TPu

Määräpäivä: 11.08.2002

Patentihakemuksen numero ja luokka on mainittava kirjelmässänne PRH:lle

Keksinnön kohteena on menetelmä ja laite tiedonsiirtoverkkojen käytön säättämiseksi sumealla säädöllä. Kansainvälisessä hakemusjulkaisussa WO9741675 on esitetty tiedonsiirtoverkon käytön ohjaus sumealla säädöllä. Sumea säätö tunnetaan lukuisista käytännön sovelluksista ja sen perusmuotoinen soveltaminen valitulle sääntöjoukolle oletetaan a m m a t t i m i e h e l l e t u n n e t u k s i (<http://www.tekes.fi/julkaisut/sume/index.html>, päivitys, helmikuu 1998, US5822301, US5778317). Lisäksi patentijulkaisussa US551066 (palsta 17) mainitaan sumean säädön käyttö keksinnön mukaisessa käyttöyhteydessä. Hakemukseissa mainitaan kansainvälisen standardointijärjestön IEEE standardi 803.11a ja ETSI-järjestön standardi HIPERLAN/2, joissa julkaisussa WO9741675 esitetty ulostuloparametrit (sivu 6) on ryhmitelty modulaatiomoodeiksi. Standardin avulla ulostulomuuttujien määrä supistuu ja päästään eroon monimutkaisesta päättelyystä sisäänmenojen ja ulostulojen välillä. Yksinkertaisuminen on etupäässä standardin, eikä esitetyn keksinnön ominaisuus. Standardit oletetaan ammattimiehelle tunnetuksi. Pakettivirhesuhteen (PER, Packet Error Rate) määritys tunnetaan mm. patentijulkaisuista WO0165709 (sivu 3, rivi 6), ja oletetaan ammattimiehelle tunnetuksi.

Esitettyjen näkökohtien nojalla hakemuksen patenttivaatimuksien mukaisen keksinnön ei voida katsoa alan ammattimiehen kannalta eroavan oleellisesti siitä tunnetusta tekniikan tasosta, joka käy esitetyistä julkaisuista ilmi. Nämä ollen hakemus ei ole hyväksytävissä.

Mikäli hakemuksen käsittelyä halutaan jatkaa, pyydetään hakijaa toimittamaan uudet patenttivaatimukset, joissa otetaan huomioon tutkimussa esille tullut tekniikan taso. Hakijaa pyydetään toimittamaan ruotsinkielinen tiivistelmä.



Janne Nummela

Tutkijainsinööri
Puhelin: (09) 6939 5364

Liitteenä viitejulkaisukopiot 2 kpl:na ja tutkimusraportti.

Lausumanne huomautusten johdosta on annettava viimeistään yllämainittuna määräpäivänä. Jollette ole antanut lausumaanne virastoon viimeistään mainittuna määräpäivänä tai ryhtynyt toimenpiteisiin tässä välipäätöksessä esitettyjen puutteellisuksien korjaamiseksi, jätetään hakemus sillensä (patenttilain 15 §). Sillensä jätetty hakemus otetaan uudelleen käsitteltäväksi, jos Te neljän kuukauden kuluessa määräpäivästä annatte lausumanne tai ryhdytte toimenpiteisiin esitettyjen puutteellisuksien korjaamiseksi ja samassa ajassa suoritatte vahvistetun uudelleenkäsittelymaksun. Jos lausumanne on annettu virastoon oikeassa ajassa, mutta esitettyjä puutteellisuksia ei ole sitten korjattu, että hakemus voitaisiin hyväksyä, se hylätään, mikäli virastolla ei ole aihetta antaa Teille uutta välipäätöstä (patenttilain 16 §). Uusi keksinnön selitys, siihen tehdyt lisäykset ja uudet patenttivaatimukset on aina jätettävä kahtena kappaleena ja tällöin on otettava huomioon patentiasetuksen 19 §.

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

Patentti- ja innovaatioliinja

TUTKIMUSRAPORTTI

PATENTTIHAKEMUS NRO	LUOKITUS
20002875	H04L 29/08, G06F 15/18, G06N 7/02

TUTKITTU AINEISTO**Patenttijulkaisukokoelma (FI, SE, NO, DK, DE, CH, EP, WO, GB, US), tutkitut luokat****Tiedonhaut ja muu aineisto**

TXTE, EPODOC, WPI, PAJ, INSPEC, ESP@CENET

VIITEJULKASUT

Kategoria*)	Julkaisun tunnistetiedot	Koskee vaatimuksia
Y	US, B1, 5551066 (H04B 7/00, Radio Local Area Networks, 1996)	1-16
Y	WO, A1,9741675 (H04L 29/10, Radio Desingn Innovation AB, 1997)	1-16
A	US, B1, 5778317 (H04Q 7/20, Harris corp., 1998)	
A	US, B1, 5822301 (H04J 3/14, Siemens, 1998)	
A	WO, A2, 0104769 (G06F 15/18, University of New Jersey, 2001)	
A	WO, A1, 0165709 (H04B 1/10, Home Wireless Networks, 2001)	

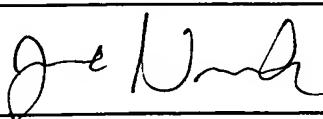
*) X Patentoitavuuden kannalta merkittävä julkaisu yksinään tarkasteltuna
 Y Patentoitavuuden kannalta merkittävä julkaisu, kun otetaan huomioon tämä ja yksi tai useampi samaan kategoriaan kuuluva julkaisu
 A Yleistä tekniikan tasoa edustava julkaisu, ei kuitenkaan patentoitavuuden este

Päiväys

8.2.2002

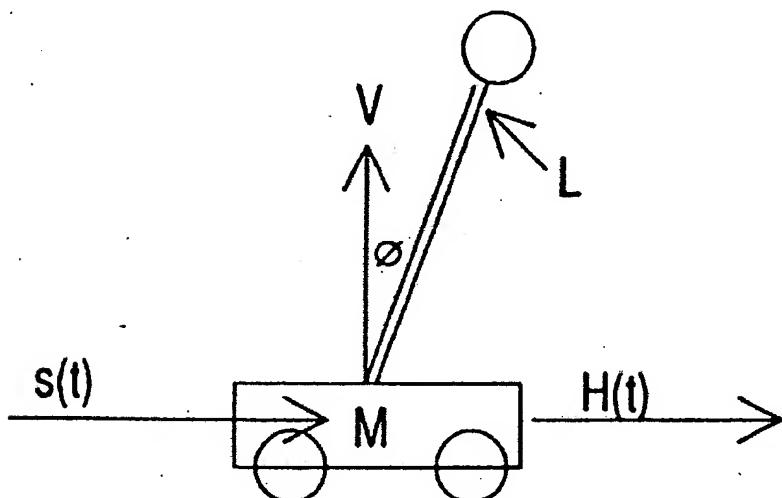
Tutkija

Janne Nummela



3.2.2 Esimerkki: käänteinen heiluri

Käänteinen heiluri (inverted pendulum, Kuva 3.3) on usein käytetty esimerkki säätöteorian parissa. Hyvä säätö heilurille voidaan rakentaa myös perinteisistä säätömenetelmin, mutta sen avulla voidaan hyvin havainnolistaan myös sumeana säädön toimintaa ja sen tarjoamia etuja. Varsinaisia käytännöön soveltuksia sumealle säädölle käsitellään myöhemmin. Esimerkissä käytetyn sumeana säätimen perusrakenne on esitetty Kuvalta 3.2.



Kuva 3.3. Käänteinen heiluri liikkuvalla alustalla [Omron 91].

Sumeiden joukkojen teoriaan pohjautuen voidaan sumeaa päättelyä suorittaa monin eri tavoin.

Selkeyden vuoksi on esimerkissä esitetty vain yksi päättelymenetelmä juurikaan puuttumatta muihin mahdollisuuksiin päättelyn eri vaiheissa. Vaikka esitetty päättelymenetelmä onkin yksinkertainen, se on paljon käytetty myös käytännön soveltuksissa. Muutenkin esitys on pyritty tekemään helpolliseksi mm. välttämällä kaavojen käyttöä. Teoreettisempi sumeana päättelyn tarkastelu on esitetty luvussa 2.

3.2.2.1 Esimerkin kuvaus

Käänteisen heilurin matemaattinen malli (taulukko 3.2) on hyvin monimutkainen ja sen implementointi voi olla hankalaa. Toisaalta pikkulapsikin osaa pienen harjoittelun jälkeen pitää keppiä tasapainossa kämmenellään, vaikkei tajuakaan ongelman matemaattisesta mallista mitään.

Taulukko 3.2. Käänteisen heilurin matemaattinen malli.

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2}{dt^2} [s(t) + L \sin \phi(t)] &= H(t) \\
 m \frac{d^2}{dt^2} [L \cos \phi(t)] &= V(t) - mg \\
 J \frac{d^2}{dt^2} = [L V(t) \sin \phi(t) - L H(t) \cos \phi(t)] &= V(t) - mg \\
 M \frac{d^2}{dt^2} s(t) &= \mu(t) - H(t) - F_d \frac{d}{dt} s(t)
 \end{aligned}$$

Tämän - kuten monen muunkin - ohjausongelman ratkaisu on helposti muotoiltavissa joukolla JOS-NIIN -tyyppisiä sääntöjä. Kukin sääntö kertoo, millaiseen ohjaustoimintoon on tietynlaisessa tilanteessa ryhdyttävä. Sumea säädin heilurille voidaan muodostaa jopa vain yhdellä ätoista säännöllä (Seitsemälläkin säännöllä heiluri pysyy pystyssä, mutta sen horisontaalin paikka voi muuttua.) [Yamakawa 88]. Yksi mahdollinen sääntöjoukko heilurin ohjaamiseen on esitetty taulukossa 3.3.

Taulukko 3.3. Heilurin ohjauksen sumea sääntöjoukko. PN = Paljon Negatiivinen, HN = Hieman Negatiivinen, O = Nolla, HP = Hieman Positiivinen, PP = Paljon Positiivinen.

ASENTÖ: ASENNON MUUTOS

	PN	HN	O	HP	PP
PN	-	-	PN	-	-
HN	-	PN	HN	O	-
O	PN	HN	O	HP	PP
HP	-	O	HP	PP	-
PP	-	-	PP	-	-

Taulukon 3.3 sääntöjoukko sisältää kolmetoista sääntöä. Esityksen selkeyden vuoksi tarkastellaan seuraavassa vain kolmea niistä. Nämä kolme sääntöä löytyvät taulukon toiseksi viimeisestä sarakkeesta:

R1: JOS (Asento on Hieman Positiivinen) ja (AsennonMuutos on Hieman Positiivinen)

NIIN Nopeus on Paljon Positiivinen.

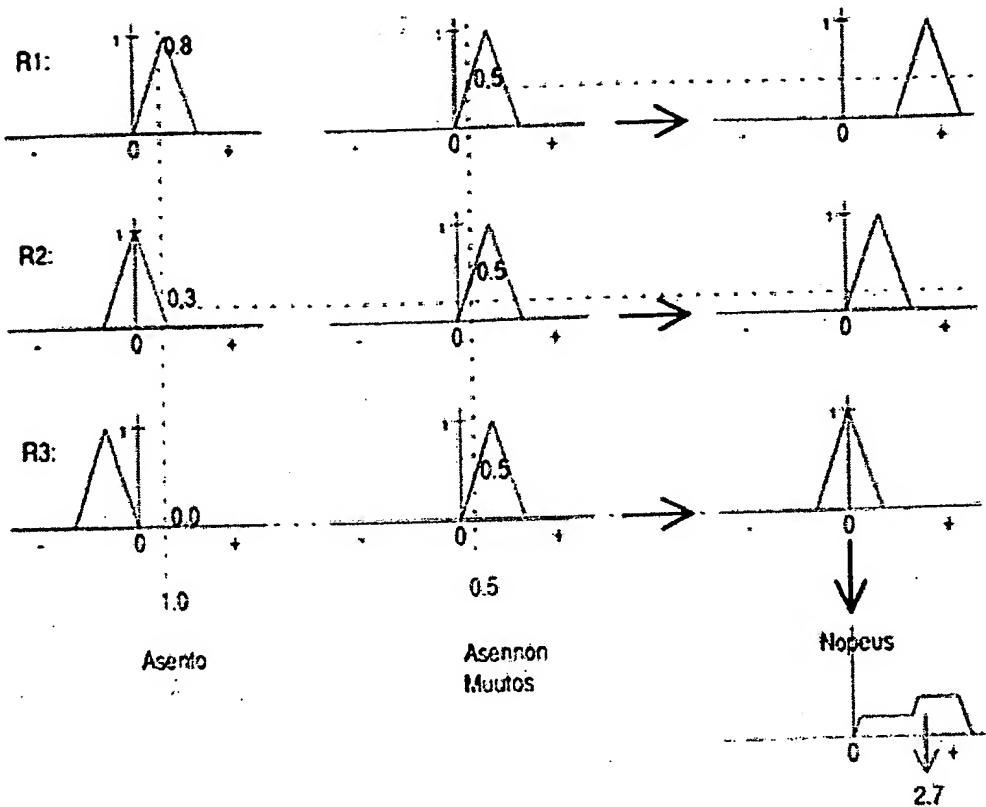
R2: JOS (Asento on Nolla) ja (AsennonMuutos on Hieman Positiivinen)

NIIN Nopeus on Hieman Positiivinen.

R3: JOS (Asento on Hieman Negatiivinen) ja (AsennonMuutos on Hieman Positiivinen)

NIIN Nopeus on Nolla.

Kuvassa 3.4 on esitetty kunkin säännön jäsenyysfunktiot omalla rivillään. Esimerkiksi ensimmäisen rivin vasemmanpuoleisin jäsenyysfunktio kuvailee ehtoa "Asento on Hieman Positiivinen" ja keskimmäinen ehtoa "AsennonMuutos on Hieman Positiivinen". Ensimmäisen rivin oikeanpuoleisin jäsenyysfunktio puolestaan kuvailee säännön toiminto-osaa "Nop us on Paljon Positiivin n". Muuttuja $Nop us$ kertoo s nopeudelle n , jolla heilurin alustaa on liikutettava, jotta heiluri pysyisi pystyssä. Esimerkissämme summat joukot ovat muodoltaan kolmiomaisia, mutta ne voisivat olla muunkin mallisia. Yksinkertaiset muodot, kuten n kolmio, pylväs ja trapetsi ovat paljon käytettyjä laskennallisissa yksinkertaisuutensa vuoksi.



Kuva 3.4. Sumean päättelyn vaiheet.

3.2.2.2 Päättelyn suoritus

Tarkastellaan seuraavaksi, miten varsinainen sumea päättely tapahtuu käytettäessä esimerkkiin valittua päättelymekanismia. Oletetaan, että tietyllä ajan hetkellä heiluri on hieman oikealle kallelaan, tarkemmin sanoen aseman tulomuuttujalle on mitattu arvo $Asema=1.0$. Lisäksi heiluri on kallistumassa hitaasti yhä enemmän oikealle nopeudella $AsemanMuutos=0.5$ (selkeyden vuoksi muuttujien yksiköt on jätetty pois tarkastelusta ja Kuvasta 3.4). Nämä muuttujien arvot on esitetty Kuvassa 3.4. pystysuorilla katkoviivoilla asianomaisten jäsenyysfunktioiden kohdalla.

Sumeuttaminen ja tulomuuttujien sovitus: päättelyn aluksi katsotaan, millä korkeudella muuttujat $Asema$ ja $AsemanMuutos$ leikkaavat niitä vastaavat säätöjen jäsenyysfunktiot. Kuvasta 3.4 näemme, että muuttuja $Asema$ leikkaa ensimmäisen säänön jäsenyysfunktion korkeudella 0.8, toisen säänön korkeudella 0.3 ja kolmannen korkeudella 0.0. Vastaavasti $AsemanMuutos$ leikkaa kaikissa kolmessa säänössä sitä vastaavan jäsenyysfunktion korkeudella 0.5.

Sumea päättely: Seuraavaksi pääteellään, missä määrin kukin säätö tulee vaikuttamaan koko päättelyn lopputulokseen. Toisin sanoen pääteellään, missä määrin kukin säätö "laukeaa". Tässä tapauksessa käyt tään seuraavaa menettelytapaa: katsotaan kumpi säänön hto-osan muuttujista leikkasi vastaavan jäsenyysfunktion matalammalla kork ud lla ja käytetään tästä arvoa säänön laukeamisasteena. Ensimmäisen säänön kohdalla laukeamisaste on $\min(0.8,0.5)=0.5$. Toisen säänön lauk amisast on $\min(0.3,0.5)=0.3$ ja kolmannen $\min(0.0,0.5)=0.0$.

Seuraavaksi l ikataan kunkin säännän toiminto-osan jäs nyysfunktio säännille ed lää lasketun minimin mukais Itärikuid Itä. Ensimmäis n säännön lähtömuuttuja *Nop us* vastaava jäsenyysfunktio katkaistaan siis kork uelta 0.5, tois n säännön krik uelta 0.3 ja kolmannen kork u Itä 0.0. Tätä imenpidettä kuvaavat vaakasuorat katkoviivat Kuvassa 3.4. Päättelyn lopputuloks na saatu sumea säättöarvo muuttujall *Nop us* on näiden leikattujen jäsenyysfunktioiden looginen summa, j ka näky Kuvan 3.4 oikeassa alareunassa. Kuten kuvasta nähdään, on kokin sääntö huomioitu lopputuloksessa vain siinä määrin kuin se on lauennut.

Täsmällistäminen: Saatu sumea arvo muuttujalle *Nopeus* ei sellaisenaan ole käyttökelpoinen heilurin alustaa liikuttavan moottorin ohjaamiseen, sillä ohjausarvon tulee olla yksiselitteinen lukuarvo. Tämän vuoksi saatu sumea säättöarvo tulee muuttaa yksiselitteiseksi eli täsmällistää (defuzzification, ks. kappale 2.6, joskus puhutaan myös sumeuden poistosta). Yksi täsmällistämistapa on ajatella sumean säättöarvon jäsenyysfunktion alla oleva alue pinnaksi ja laskea ko. pinnan painopiste. Tällä tavalla on esimerkissämme saatu sumesta ohjausarvosta laskettua yksiselitteinen ohjausarvo *Nopeus*=2.7, mitä kuvastaa nuoli Kuvan 3.4 oikeassa alareunassa. Tätä arvoa voidaan käyttää kepin alustaa liikuttavan moottorin ohjaukseen.

Yllä on kuvattu yhden säätkierroksen aikana tapahtuva päättelyketju. Kun sumea säädin on toiminnassa, se toistaa päättelyä yhä uudelleen: mittaa tulomuuttujien arvot, päättelää sopivan ohjausarvon lähtömuuttujalle, suorittaa ohjauksen, mittaa tulomuuttujien arvot, päättelää sopivan ohjausarvon lähtömuuttujalle, suorittaa ohjauksen, jne.

3.2.2.3 Sumean toteutuksen etuja

Edellä kuvatusta heiluriesimerkistä voimme nähdä, että sumeaa logiikkaan pohjautuva toteutus voi tässä tapauksessa antaa seuraavat edut:

- **Yksinkertaisuus.** Sumean säätimen rakenne on yksinkertainen verrattuna monimutkaiseen matemaattiseen malliin pohjautuvaan ratkaisuun. Useissa sovelluksissa myös tarvittavien anturien määrä vähenee. Yksinkertaisuuden vuoksi on sumea säädin usein myös helpompi ja halvempi kehittää kuin vastaavan tasoinen perinteinen säädin.
- **Hyvä suoritusnopeus.** Yksinkertainen rakenne merkitsee usein myös vähemmän laskutoimituksia, mikä nopeuttaa säätimen toimintaa. Lisäksi sumeiden sääntöjen luonne antaa mahdollisuuden niiden rinnakkaiselle suoritukselle (vrt. Kuva 3.4), mikä tarjoaa mahdollisuuden suureen nopeuden lisäämiseen erikoiskovon avulla. Tällöin sääntöjen lukumäärän kasvun ei tarvitse hidastaa järjestelmän suoritusnopeutta juuri ollaan.
- **Häiriösietoisuus.** Suma säädin sietää hyvin muutoksia heilurin parametreissa, kuten varren pituuden tai massan muutoksissa. Säätimen häiriösi toisuutta on demonstroitu mm. antamalla elävän hiiren liikkua vapaasti heilurin päällä kiinnitetyllä lyyllä tai kaatamalla viiniä heilurin päälle kiinnitettyyn lasiin. Kummassakin tapauksessa

sumea säädin piti heilurin helposti tasapainossa. [Yamakawa 91]

**Myös itse sumea sääntökanta voi sisältää tietyn määrän häiriötä.
Jos sääntökannasta sim rkiksi ottaa jonkin säännön pois, voi
säädin edell n toimia tyydyttävästi.**

- **Helposti ymmärrettävä rakenne. Tämä helpottaa ja nopeuttaa paitsi
säätimen kehittämistä myös sen testausta ja viritystä.**

**Sumean säädön teollisista sovelluksista on esimerkkejä kappaleessa 5:
Suomalaiset yritykset ja sumea logiikka.**

Sisällysluettelo

◀ [Sumea säätö: taustaa](#) | [Sumea päätöksenteko](#) ▶

TRANSLATION FROM THE FINNISH ORIGINAL

NATIONAL BOARD OF PATENTS
AND REGISTRATION

OFFICIAL ACTION

Tampereen Patenttitoimisto Oy
Hermiankatu 6
33720 Tampere

11 February 2002

Patent application No. 20002875
Class: H04L /JEN
Applicant: Nokia Corporation
Attorney: Tampereen Patenttitoimisto Oy
Attorney's reference: TP100228/TPu

Term 11 August 2002

The number and class of the patent application must be mentioned in your letter to the National Board of Patents and Registration

The invention relates to a method and device for controlling the use of data networks by means of fuzzy control. International publication WO9741675 discloses the control of a data network by means of fuzzy control. Fuzzy control is known from various practical applications, and the act of applying fuzzy control in its basic form for a fixed set of rules is assumed to be prior art known by anyone skilled in the art (<http://www.tekes.fi/julkaisut/sume/index.html>, updated on February 1998, US5822301, US5778317). Furthermore, patent publication US551066 (col. 17) mentions the use of fuzzy control in a similar environment as in the present invention. In the application, reference is made to the IEEE standard 803.11a of the International Organization for Standardization and to the HIPERLAN/2 standard of the ETSI organization, in which the output variables disclosed in the publication WO9741675 (page 6) are grouped into modulation modes. By means of the standard the number of output variables is reduced and complex reasoning between inputs and outputs is eliminated. The simplification is primarily a feature of the standard, not a feature of the invention. It is assumed that the standards are known by anyone skilled in the art. The determination of a packet error rate (PER) is disclosed for example in the patent publication WO0165709 (page 3, line 6) and it is assumed to be prior art known by anyone skilled in the art.

On the basis of the facts stated above it cannot be considered that in the point of view of a person skilled in the art, the invention disclosed in the claims of the application significantly differs from the state of the art disclosed in the above-mentioned publications. Thus, the application cannot be accepted.

If the applicant wishes to continue the prosecution of the application, the applicant is requested to submit new claims in which the state of the art revealed in the search has been taken into account. The applicant is requested to file the abstract in Swedish.

Examining Engineer (signed)
Telephone: (09) 6939 5364 Janne Nummela

ENCL. Copies of the reference publications in duplicate and search report

Your response for the remarks is to be filed by the above mentioned due date. If you have not filed your response with the Patent Office by the above-indicated due date or taken measures to correct the deficiencies expressed in the present Official Action, the application is deemed to be withdrawn (Patent Act, 15 §). An application that is deemed to be withdrawn will be accepted under revival if you file your response or take measures to correct the expressed defects within four months from the due date and, within the same term, pay the confirmed fee for revival of the application. If your response is filed at the Patent Office in due time, but the expressed defects are not corrected in a manner that the application could be accepted, it is rejected, unless the Patent Office has a cause to issue a new Official Action (Patent Act, 16 §). A new specification, corrections made therein, and new claims are always to be filed in duplicate and thus Art. 19 of the Patent Decree has to be taken into account.

The fee is based on the Statute 1027/2001, with amendments, on the services payable to the National Board of Patents and Registration, issued by the Ministry of Trade and Industry.

TRANSLATION FROM THE FINNISH ORIGINAL

NATIONAL BOARD OF PATENTS
AND REGISTRATION
Patent and Innovation Department

SEARCH REPORT

APPLICATION NO.	CLASSIFICATION
20002875	H04L 29/08, G06F 15/18, G06N 7/02

MATERIAL SEARCHED
Classes searched in the record of patent publications (FI, SE, NO, DK, CH, EP, WO, GB, US):
Data searches and other material
TXTE, EPODOC, WPI, PAJ, INSPEC, ESP@CENET

REFERENCES		
Category *)	Identification data of the publication	Relates to claims
Y Y	US, B1, 5551066 (H04B 7/00, Radio Local Area Networks, 1996) WO, A1, 9741675 (H04L 29/10, Radio Design Innovation AB, 1997)	1-16 1-16
A	US, B1, 5778317 (H04Q 7/20, Harris corp., 1998)	
A	US, B1, 5822301 (H04J 3/14, Siemens, 1998)	
A	WO, A2, 0104769 (G06F 15/18, University of New Jersey, 2001)	
A	WO A1, 0165709 (H04B 1/10, Home Wireless Networks, 2001)	

*) X Publication of particular relevance in view of patentability when the publication is taken alone
Y Publication of particular relevance in view of patentability when the publication is combined with one or more such publications
A Publication defining the general state of art, not considered relevant in view of patentability

Date 8 February 2002	Examiner Janne Nummela
-------------------------	---------------------------

was previously
checked on 20.2.2002

Updated: February 1998

APPLICATIONS OF FUZZY CONTROL

[Fuzzy control: background](#) | [Fuzzy decision-making](#)

3.2.2. Example: inverted pendulum

Inverted pendulum (Fig. 3.3.) is a frequently used example in the control theory. The pendulum can be controlled well by means of conventional control methods, but by means of the inverted pendulum it is also possible to illustrate the function of fuzzy control and the advantages gained thereby. The actual practical applications for fuzzy control are disclosed hereinbelow. The basic structure of a fuzzy controller used in the example is shown in Fig. 3.2.

[Fig. 3.3]

Fig. 3.3. Inverted pendulum on a moving base [Omron 91].

On the basis of the theory of fuzzy sets, it is possible to conduct fuzzy reasoning in a number of different ways.

For the sake of clarity, the example shows only one reasoning method without paying much attention to the other possibilities at the different stages of reasoning. Although the presented reasoning method is a simple one, it is frequently used also in practical applications. The aim has been to make the presentation easy to read in other ways as well, for example by avoiding the use of formulas. More theoretical contemplation of fuzzy reasoning is presented in Chapter 2.

3.2.2.1 Description of the example

The mathematical model of an inverted pendulum (Table 3.2.) is very complex and the implementation of the same can be quite difficult. On the other hand, even a small child can balance a stick on his/her palm after a little practice, without understanding the mathematical model of the problem.

Table 3.2. Mathematical model of an inverted pendulum

[Table 3.2]

The solution of this control problem, as well as the solutions of many control problems can be easily formulated by means of a set of IF – THEN type of rules. Each rule indicates the control function that has to be conducted in a given situation. For a pendulum the fuzzy controller can be formulated with only eleven rules (even with seven rules the pendulum keeps its balance, but the horizontal position of the same may change.) [Yamakawa 88]. One possible set of rules for controlling the pendulum is disclosed in Table 3.3.

Table 3.3. Fuzzy set of rules for the pendulum. PN= Very negative, HN= Slightly negative, O = Zero, HP= Slightly positive, PP= Very positive.

POSITION: CHANGE OF POSITION

[Table 3.3.]

The set of rules in Table 3.3. contains thirteen rules. For the sake of clarity, only three of them are examined hereinbelow. These three rules can be found in the second last column of the Table:

R1: IF (Position is slightly positive) and (Change of position is slightly positive)
THEN Velocity is very positive.

R2: IF (Position is zero) and (Change of position is slightly positive)
THEN Velocity is slightly positive.

R3: IF (Position is slightly negative) and (Change of position is slightly positive)
THEN Velocity is zero.

Fig. 3.4. shows the membership functions of each rule on separate lines. For example the membership function on the far left-hand side on the first line describes the condition “*Position is slightly positive*” and the one in the middle the condition “*Change of position is slightly positive*”. The membership function on the far right-hand side on the first line, in turn, describes the functional part of the rule “*Velocity is very positive*”. The variable *Velocity* indicates the velocity in which the base of the pendulum must be moved, so that the pendulum would keep its balance. In our example, the fuzzy sets have a triangular form, but they could also have another form. Simple forms, such as a triangle, a column and a trapezoid are frequently used because of their calculatory simplicity.

[Fig. 3.4.]

[Translation of the captions:
Asento = Position
Asennon muutos = Change of position
 Nopeus = Velocity]

Fig. 3.4. Stages of fuzzy reasoning

3.2.2.2. Reasoning

In the following, it will be examined how the actual fuzzy reasoning takes place, when the reasoning mechanism selected for the example is used. It is assumed that at a set moment in time, the pendulum slants slightly to the right, more precisely a value *Position* = 1.0 has been measured for the input variable of the position. Furthermore, the pendulum slowly slants more and more to the right at the velocity of *Change of Position* = 0.5 (for the sake of clarity the units of these variables are omitted in the examination and in Fig. 3.4). These values of the variables are shown in Fig. 3.4. with vertical broken lines by the membership functions in question.

Fuzzification and adaptation of input variables: In the beginning of reasoning it is determined on which height the variables *Position* and *Change of Position* cut the membership functions of the rules corresponding thereto. It can be seen in Fig. 3.4. that the variable *Position* cuts the membership function of the first rule at the height of 0.8, the second rule at the height of 0.3. and the third rule at the height of 0.0. In a corresponding manner, the *Change of Position* cuts the membership function corresponding thereto at the height of 0.5. in all three rules.

Fuzzy reasoning: The next step is to determine the degree in which each rule will affect the result of the entire reasoning. In other words, it is reasoned in which degree each rule is “tripped”. In this case, the following method is used: it is determined which one of the variables in the conditional part of the rule cut the corresponding membership function at a lower height and this value is used as a tripping level of the rule. In the first rule, the tripping level is $\min(0.8, 0.5) = 0.5$. The tripping level of the second rule is $\min(0.3, 0.5) = 0.3$. and the tripping level of the third rule is $(0.0, 0.5) = 0.0$.

At the next stage, the membership function of the functional part of each rule is cut at the height of the minimum calculated above. The membership function corresponding to the output variable *Velocity* of the first rule is thus cut at the height of 0.5, the one of the second rule at the height of 0.3. and the one of the third rule at the height of 0.0. This procedure is illustrated by horizontal broken lines in Fig. 3.4. The fuzzy control value attained as a result of the reasoning for the variable *Velocity* is the logical sum of these membership functions, which is shown in the lower right-hand side of Fig. 3.4. As can be seen in the figure, each control is taken into account in the result only to the extent it is tripped.

Defuzzification: The obtained fuzzy value for the variable *Velocity* is not applicable as such for controlling the motor moving the base of the pendulum, because the control value should be an unambiguous numerical value. Thus, the obtained fuzzy control value must be converted into an unambiguous value, i.e. defuzzified (defuzzification, see Chapter 2.6.). One defuzzification method is to consider the area below the membership function of the fuzzy control value as a surface and to calculate the centre of gravity of said surface. In our example, an unambiguous control value $Velocity=2.7$ has been calculated in this way from the fuzzy control value, which is illustrated by an arrow in the lower right-hand side of Fig. 3.4. This value can be used for controlling the motor supporting the substrate of the rod.

The description above illustrates a train of reasoning taking place during one control cycle. When the fuzzy controller is operating, it repeats the reasoning over and over again: measures the values of the input variables, determines a suitable control value for the output variable, performs the control, measures the values of input variables, determines a suitable control value for the output variable, performs the control, etc.

3.2.2.3. Advantages of fuzzy implementation

It can be seen in the above-described pendulum example, that the implementation based on fuzzy logic can in this case give the following advantages:

Simplicity. The structure of a fuzzy controller is simple when compared to a solution based on a complex mathematical model. In several applications, the number of necessary sensors is also reduced. Because of simplicity, it is often easier and less expensive to develop the fuzzy controller when compared to a conventional controller of similar level.

- **Good rate of performance.** The simple structure often also involves a smaller number of calculations, which facilitates the function of the controller. Furthermore, the character of the fuzzy controls provides the possibility of performing the functions in parallel with each other (cf. Fig. 3.4.) which makes it possible to significantly increase the rate by means of special hardware. Thus, the increase in the number of controls does not necessarily have to reduce the rate of performance of the system at all.
- **Fault tolerance.** The fuzzy controller tolerates well changes in the parameters of the pendulum, for example changes of the length of the arm or mass. The fault tolerance of the controller has been demonstrated for example by letting a live mouse move freely on a glass plate fixed on top of the pendulum, or by pouring wine on a glass attached on top the pendulum. In both cases

the fuzzy controller keeps the pendulum easily in balance [Yamakawa 91]

The fuzzy set of rules itself can contain a fixed amount of faults. If, for example a rule is removed from the set of rules, the controller can still function satisfactorily.

A structure that can be easily understood. This facilitates and accelerates not only the development of the controller, but also the testing and tuning of the same.

Examples on the industrial applications of fuzzy control are disclosed in Chapter 5: Finnish corporations and fuzzy logic.

Index

[<Fuzzy control: background | Fuzzy decision-making>](#)